



République Algérienne Démocratique et Populaire
Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen
Faculté des Sciences
Département d'Informatique

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique

Option: Réseaux et Systèmes Distribués (R.S.D)

Thème

Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (V2V)

Réalisé par :

- Mlle BOUZEBIBA Hadjer
- Mlle BOUIZEM Yasmina

Soutenu en Juin 2015 devant le jury composé de MM.

- | | |
|-------------------------|-------------|
| - Mr. BENMAMMAR BADR | (Président) |
| - Mme. LABRAOUI Nabila | (Encadreur) |
| - Mr. BEKARA Chakib | (Examineur) |
| - Mr. BENAMAR Abdelkrim | (Examineur) |

Remerciements

Grâce à ALLAH vers lequel vont toutes les louanges, ce travail s'est accompli.

Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer nos gratitude et nos remerciements pour toutes les personnes qui ont contribué à sa réalisation.

Nous tenons à exprimer tout d'abord nos vifs remerciement pour notre encadreur Mme Labraoui Nabila, de nous avoir encadré pour réaliser ce travail par la disponibilité de son temps précieux, ses encouragements, ses aides, ses conseils avisés, sa gentillesse...

Nous tenons, également, à remercier vivement les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous nos enseignants et toutes les personnes qui nous ont soutenus jusqu'au bout, et qui n'ont pas cessé de nous donner des conseils très importants en signe de reconnaissance.

Dédicaces

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots,
Que nous dédions ce modeste travail de fin d'étude à
nos chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour
notre réussite et nous en éclairé le chemin par
leur conseils judicieux.*

*Nous espérons qu'un jour,
nous pourrons leur rendre un peu de ce qu'ils ont
fait pour nous, que dieu leurs prête bonheur et longue vie.*

*Nous dédions aussi ce travail à nos frères et
sœurs, nos familles, nos amis,
tous nos professeurs qui nous ont enseigné
et à tous ceux qui nous sont chers.*

Hadjer & Yasmin

Résumé

VANET (Vehicular Adhoc Networks) est une nouvelle technologie émergente qui intègre les fonctionnalités de la nouvelle génération de réseaux sans fil pour les véhicules. Les réseaux véhiculaires sont caractérisés par une forte mobilité des nœuds qui posent de nombreux défis de recherche. Les modèles de mobilité peuvent affecter significativement les résultats de la simulation. Notre objectif, est d'évaluer l'impact des modèles de mobilité tels que IDM, IDM-IM et IDM-LC sur les protocoles de routage AODV, DSR et DSDV à l'aide du modèle de propagation Nakagami dans un scénario urbain en particulier « la ville de Tlemcen », en générant des traces réaliste de véhicules grâce à un simulateur de mobilité VanetMobiSim. Les résultats de simulation obtenus à différentes densités et vitesse véhiculaires montrent que les protocoles de routage MANET souffrent de mauvaises performances dans les VANET.

Mot clés : MANET, Réseaux véhiculaires VANET, Modèles de mobilité, Protocoles de routage, Nakagami, VanetMobiSim, Simulation.

Abstract

VANET (Vehicular Adhoc Networks) is a new emerging technology that integrates the features of the new generation of wireless for vehicles. Vehicular networks are characterized by a high mobility of nodes that pose many challenges of research. The mobility models can significantly affect the results of the simulation. Our goal, is to evaluate the impact of the mobility models such as IDM, IDM-IM and IDM-LC on routing protocols AODV, DSR and DSDV using the propagation model Nakagami in an urban scenario in particular “the city of Tlemcen”, generating realistic traces of vehicles thanks to a mobility simulator VanetMobiSim. The simulation results obtained at different densities and vehicular speed show that MANET routing protocols suffer from poor performance in VANET.

Keywords: MANET, Vehicular Adhoc Networks VANET, Mobility Models, Routing Protocols, Nakagami, VanetMobiSim, Simulation.

ملخص

VANET (شبكات المركبات اللاسلكية) هو تكنولوجيا ناشئة جديدة التي تتضمن ميزات الجيل الجديد من لاسلكي للمركبات. شبكات المركبات تتميز بقدرة عالية لحركة العقد التي تشكل تحديات عديدة للبحث. نماذج الحركة يمكن أن تؤثر تأثيراً كبيراً على نتائج من المحاكاة. هدفنا هو تقييم تأثير نماذج الحركة مثل IDM، IDM-IM و IDM-LC على بروتوكولات التوجيه AODV، DSR و DSDV باستخدام نموذج نشر Nakagami في سيناريو حضري وبخاصة "مدينة تلمسان"، بتوليد آثار واقعية للمركبات بفضل جهاز محاكاة الحركة VanetMobiSim. نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها في كثافات وسرعات مختلفة للمركبات تبين أن بروتوكولات التوجيه MANET تعاني من ضعف الأداء في ال VANET.

الكلمات الرئيسية : MANET، شبكات المركبات اللاسلكية VANET، نماذج الحركة، بروتوكولات التوجيه، VanetMobiSim، Nakagami، محاكاة.

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : VUE D'ENSEMBLE DES RESEAUX VEHICULAIRES	3
INTRODUCTION	3
I.1 LES RESEAUX AD HOC ET MANET	3
I.1.1 DEFINITIONS.....	3
I.1.1.1 <i>Les réseaux Ad hoc</i>	3
I.1.1.2 <i>Les réseaux MANET</i>	4
I.1.2 CARACTERISTIQUES DES RESEAUX AD HOC	4
I.1.2.1 <i>Absence d'infrastructure</i>	4
I.1.2.2 <i>ROUTAGE par relais</i>	4
I.1.2.3 <i>Topologie dynamique</i>	4
I.1.2.4 <i>Taille du réseau ad hoc</i>	4
I.1.2.5 <i>Hétérogénéité des nœuds</i>	4
I.1.2.6 <i>Multi sauts</i>	5
I.2 LES RESEAUX AD HOC VEHICULAIRES	5
I.2.1 DEFINITION D'UN RESEAU VANET	5
I.2.2 NŒUDS D'UN RESEAU VANET.....	6
I.2.3 LES MODES DE COMMUNICATION DANS LES RESEAUX VANET	6
I.2.3.1 <i>Mode de communication de véhicule à véhicule (V2V)</i>	6
I.2.3.2 <i>Mode de communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures</i>	6
I.2.3.3 <i>Mode de communication hybride</i>	7
I.2.4 CARACTERISTIQUES DES RESEAUX VANET.....	7
I.2.4.1 <i>La Collecte d'informations et la perception de l'environnement proche</i>	7
I.2.4.2 <i>Capacité de traitement, d'énergie et de communication</i>	8
I.2.4.3 <i>Environnement de déplacement et modèle de mobilité</i>	8
I.2.4.4 <i>Forte mobilité, topologie du réseau et connectivité</i>	8
I.2.5 APPLICATION DES RESEAUX VANET	8
I.2.5.1 <i>Application dans la sécurité routière</i>	8
I.2.5.2 <i>Application pour l'optimisation du trafic et aide dans la conduite</i>	9
I.2.5.3 <i>Application au confort du conducteur et des passagers</i>	9
I.2.6 LA PRINCIPALE DIFFERENCE ENTRE MANET ET VANET.....	9
I.2.7 STANDARDISATION ET DE NORMALISATION DANS UN VANET	9
I.2.7.1 <i>DSRC (Dedicated Short Range Communications)</i>	9
I.2.7.2 <i>WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)</i>	10
I.2.7.3 <i>La norme IEEE 802.11p</i>	10
I.2.8 LES DEFIS	10
I.2.8.1 <i>Sécurité</i>	10
I.2.8.2 <i>Qualité de service</i>	10
I.2.8.3 <i>Canal radio fiable</i>	10
I.2.8.4 <i>ROUTAGE</i>	11
I.2.9 LES MODELES DE PROPAGATION POUR LES VANET	11
CONCLUSION	11
CHAPITRE II : ROUTAGE DANS LES RESEAUX VEHICULAIRES	13
INTRODUCTION	13
II.1 LE ROUTAGE DANS LES RESEAUX MOBILES AD HOC	13

II.2 CLASSIFICATION DES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RESEAUX MOBILES AD HOC	13
II.2.1 CLASSIFICATION SELON L'ARCHITECTURE	14
<i>II.2.1.1 Les protocoles uniformes.....</i>	<i>14</i>
<i>II.2.1.2 Les protocoles non uniformes.....</i>	<i>14</i>
II.2.2 CLASSIFICATION SELON L'APPROCHE DE ROUTAGE.....	14
<i>II.2.2.1 les protocoles proactifs.....</i>	<i>14</i>
<i>II.2.2.2 Les protocoles réactifs.....</i>	<i>15</i>
<i>II.2.2.3 Les protocoles hybrides.....</i>	<i>15</i>
II.3 PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RESEAUX VANET.....	15
II.3.1 ROUTAGE DANS LES VANET	15
II.3.2 CLASSIFICATION DES PROTOCOLES DE ROUTAGE DANS LES RESEAUX VANET	16
<i>II.3.2.1 Les protocoles de routage basés sur la topologie.....</i>	<i>16</i>
<i>II.3.2.2 Les protocoles de routage basés sur la géographie.....</i>	<i>16</i>
II.3.3 LES PROTOCOLES DE ROUTAGE EMPLOYES DANS NOTRE ETUDE.....	17
CONCLUSION	19
CHAPITRE III : SIMULATION ET DISCUSSION DES RESULTATS	20
INTRODUCTION.....	20
III.1 SIMULATION DANS UN VANET	20
III.1.1 SIMULATION DE LA MOBILITE DANS LES VANET.....	20
<i>III.1.1.1 Les fonctionnels d'un modèles de mobilité.....</i>	<i>21</i>
<i>III.1.1.2 Modèles de mobilité dans un VANET.....</i>	<i>21</i>
III.2 OUTILS DE LA SIMULATION.....	22
III.2.1 OBJECTIF DE LA SIMULATION	22
III.2.2 ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL.....	23
<i>III.2.2.1 Le simulateur NS2.....</i>	<i>23</i>
<i>III.2.2.1.1 Les composants d'un réseau sous NS2</i>	<i>23</i>
<i>III.2.2.1.2 Flot de simulation</i>	<i>24</i>
<i>III.2.2.2 Le simulateur de mobilité VanetMobisim.....</i>	<i>25</i>
III.3 ETAPES DE LA SIMULATION	26
III.4 RESULTATS ET DISCUSSION.....	29
III.4.1 METRIQUES DE SIMULATION	29
<i>a) Calcul de taux de paquet délivré</i>	<i>29</i>
<i>b) Calcul du délai de bout en bout.....</i>	<i>29</i>
<i>c) Calcul de taux de perte de paquet.....</i>	<i>29</i>
III.4.2 PARAMETRES DE SIMULATION	30
III.4.3 EVALUATION DES DIFFERENTS SCENARIOS ET INTERPRETATION.....	31
III.4.4 ÉTUDE COMPARATIVE GLOBALE.....	38
CONCLUSION	40
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVE.....	41
BIBLIOGRAPHIE.....	42
ANNEXE A: HOW TO INSTALL THE SIMULATION'S TOOL	45
ANNEXE B: HOW TO RUN VANETMOBISIM AND NS2	47
LISTE DES FIGURES.....	52

LISTE DES TABLEAUX	53
LISTE DES ABRÉVIATIONS	54

Introduction Générale

De nos jours le véhicule devient indispensable, et pour cette raison chaque foyer doit posséder au moins un véhicule. De ce fait, le nombre croissant de véhicule a conduit un déséquilibre au trafic routier. En effet, la circulation en voiture est devenue dans certaines villes, un gène quotidien à cause des embouteillages, où la sécurité routière s'impose.

À cause du grand nombre d'accidents de la route et de l'impact économique, de nombreux gouvernements, constructeurs automobiles et consortium d'industriels, ont fixé la réduction des accidents de la route comme une priorité majeure. Afin de réussir ce challenge, l'idée première a été de rendre les véhicules et les routes plus intelligents par le biais des communications sans fil, d'où la technologie VANET a donné sa naissance, qui est qu'une forme de mise en application du MANET, permet aux véhicules de communiquer via des messages d'alertes de sécurité envoyés entre eux par un système de communication par nœud.

Les réseaux véhiculaires sont une projection des systèmes de transports intelligents (STI) (ou ITS pour Intelligent Transportation System), le but des ITS est l'amélioration de la sécurité, l'efficacité et la convivialité dans les transports routiers par l'utilisation de la technologie des communications et de l'émergence de dispositifs sans fil à faible coût.

Une des applications prometteuse de ces réseaux consiste à permettre aux véhicules équipés de capteurs spécifiques de détecter l'environnement proche et d'avertir les conducteurs des véhicules aux alentours suffisamment tôt en cas de risque d'accident.

Afin d'étudier les VANET, un processus d'évaluation et de validation est nécessaire, et pour réaliser cette tâche dans un environnement réelle avec une topologie complexe comme celle des réseaux véhiculaires ça peut être difficile aussi bien sur le plan économique que logistique. Pour contourner ce problème, la simulation est le moyen le plus facile, moins cher et le plus largement utilisé. Lors de la simulation, la mobilité est un paramètre à ne pas négliger, car les unités dans ce type de réseau peuvent se déplacer à grande vitesse avec un changement fréquent de la topologie. Pour modéliser la mobilité des VANET, plusieurs modèles ont été proposés. Ces modèles doivent prendre en considération les contraintes de la mobilité véhiculaire, pour que la simulation soit proche de la réalité.

Notre projet consiste à étudier l'impact des modèles de mobilités IDM, IDM_IM et IDM_LC sur les performances des protocoles de routage AODV, DSR et DSDV dans

une zone urbaine en particulier « la ville de Tlemcen », en évaluons pour chaque protocole les métriques suivantes : le taux de paquet délivré, le délai moyen bout en bout et le taux de perte de paquet.

Notre étude s'étale sur trois chapitres, dans le premier chapitre nous donnons un état de l'art des réseaux Ad Hoc et leur caractéristiques. Nous abordons aussi les réseaux mobiles Ad Hoc (MANET), les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANET) et des différents concepts liés à ce type de réseaux.

Dans le deuxième chapitre, nous traitons le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Nous nous intéressons au routage dans les réseaux véhiculaires. Nous décrivons également les principaux protocoles et leurs classifications. Enfin nous présentons les détails sur le fonctionnement de certains protocoles.

Dans le troisième chapitre, nous parlons sur la mobilité dans les VANET ensuite nous présentons l'implémentation du réseau VANET sous l'outil de simulation NS2 couplé avec le simulateur de mobilité VanetMobiSim, pour terminer avec des interprétations et discussions des résultats où nous allons voir l'impact d'une modélisation réaliste sur les performances des protocoles de routage.

Chapitre I : Vue d'ensemble des réseaux véhiculaires

Introduction

Les réseaux sans fil ont connu ces dernières années un essor spectaculaire et s'imposent aujourd'hui de façon indéniable. Parmi les technologies récentes de communication sans fil sont les réseaux véhiculaires (VANET), très inspiré des MANET (réseau mobile ad hoc), VANET permet aux véhicules de communiquer via des messages d'alertes de sécurité envoyés entre eux. Leur élaboration s'appuie sur l'émergence des systèmes de transports intelligents (Intelligent transportation Systems-ITS), qui ont comme objectif principale d'améliorer la sécurité routière.

En effet, grâce à des capteurs installés au sein des véhicules, les communications véhiculaires permettent aux conducteurs d'être avertis suffisamment tôt de dangers éventuels.

Dans ce chapitre nous commençons dans un premier temps la mise en réseau des MANET, leurs caractéristiques, et nous abordons les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANET) en décrivant les entités communicantes, les modes de communication et les caractéristiques de ces réseaux. Puis en citant quelques applications pour VANET avant de présenter les standards de communication véhiculaire. Ainsi, nous parlons sur les différents défis qui ont un impact sur le futur déploiement des réseaux véhiculaires et au final, on expose les modèles de propagation utilisé dans les VANET.

I.1 Les réseaux Ad Hoc et MANET

I.1.1 Définitions

I.1.1.1 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» [1].

Un réseau ad hoc doit être facilement déployé, les nœuds peuvent joindre ou quitter le réseau de manière totalement dynamique sans informer le réseau, sans effet de bord sur les communications des autres membres.

I.1.1.2 Les réseaux MANET

Le réseau mobile ad hoc, appelé généralement MANET (Mobile Ad hoc Network) est un système autonome se compose d'un nœud mobile dynamique interconnecté par des liens sans fil sans l'utilisation de l'infrastructure fixe et sans gestion centralisée [2].

Les nœuds se déplacent d'une façon aléatoire dans le réseau et par conséquent, peuvent provoquer un changement brutal dans le comportement et la structure du réseau.

I.1.2 Caractéristiques des réseaux ad hoc

I.1.2.1 Absence d'infrastructure

Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructures préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les nœuds mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau en tant que routeurs pour relayer des communications ou générer leurs propres données.

I.1.2.2 Routage par relais

Chaque nœud peut communiquer directement avec les terminaux à sa portée ou bien il peut jouer le rôle d'un relais ou routeur lorsqu'une destination n'est pas atteinte directement « hors de la portée de la source ».

I.1.2.3 Topologie dynamique

Les unités mobiles du réseau, se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et aléatoire. Les liens de la topologie peuvent être unidirectionnels ou bidirectionnels.

I.1.2.4 Taille du réseau ad hoc

La taille du réseau est souvent de petite ou moyenne taille ; le réseau est utilisé pour étendre temporairement un réseau filaire. Néanmoins, il existe des applications qui nécessitent une utilisation allant jusqu'à des dizaines de milliers de nœuds.

I.1.2.5 Hétérogénéité des nœuds

Chaque nœud peut être équipé par une ou plusieurs interfaces ayant des capacités de transmission variées et sur des plages de fréquences différentes. En plus de cette hétérogénéité, les nœuds peuvent avoir différentes capacités de traitement (CPU,

mémoire), de logiciel, de taille (petit, grand) et de mobilité (lent, rapide). Pour supporter de telles situations une adaptation dynamique des protocoles s'avère nécessaire.

I.1.2.6 Multi sauts

Un réseau ad hoc est qualifiés par « multi-hops » ou « multi-sauts », car plusieurs nœuds mobiles peuvent participer au routage et servent comme routeurs intermédiaires pour joindre un nœud qui n'est pas dans la portée ou directement liée à l'émetteur.

I.2 Les réseaux ad hoc véhiculaires

I.2.1 Définition d'un réseau VANET

Un réseau VANET est un réseau de communication entre véhicules intelligents équipés de calculateurs, de périphériques réseau et de différents types de capteurs [3].

Les VANET font parti de la famille des réseaux mobiles MANET qui fonctionnent dans des réseaux à liaison point à point sans infrastructure, c'est-à-dire que tout nœud constituant le réseau est un point d'accès. Dans un réseau VANET les nœuds sont les véhicules intelligents appartenant au réseau. Ils peuvent communiquer directement entre eux (V2V : Vehicle to Vehicle) 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 : Vehicle to Infrastructure).

L'objectif principale des réseaux VANET est d'améliorer la sécurité routière tout en élaborant des routes plus sûres et efficaces à en fournissant des informations opportunes aux conducteurs. Un exemple de réseau VANET urbain est illustré dans la **Figure I.1**.

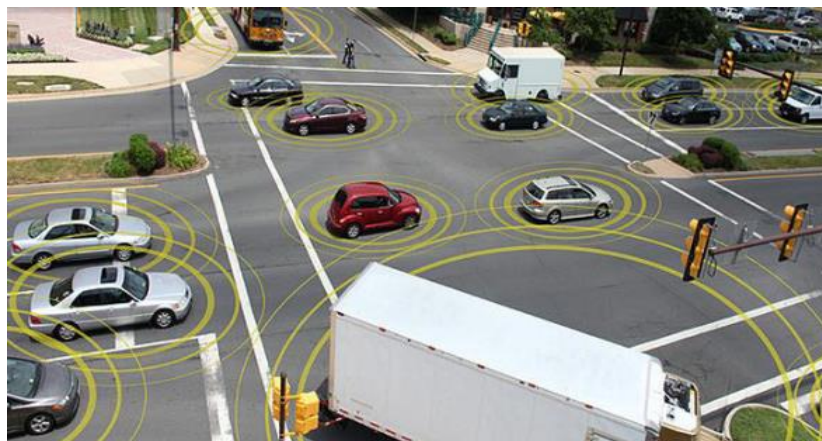


Figure I. 1 : Un exemple des réseaux VANET [3].

I.2.2 Nœuds d'un réseau VANET

Un nœud d'un réseau VANET est un véhicule équipé de terminaux tels que les calculateurs, les interfaces réseaux ainsi que des capteurs capables de collecter les informations et de les traiter. On parle de la notion de « véhicule intelligent ». La

Figure I.2 modélise un véhicule intelligent.

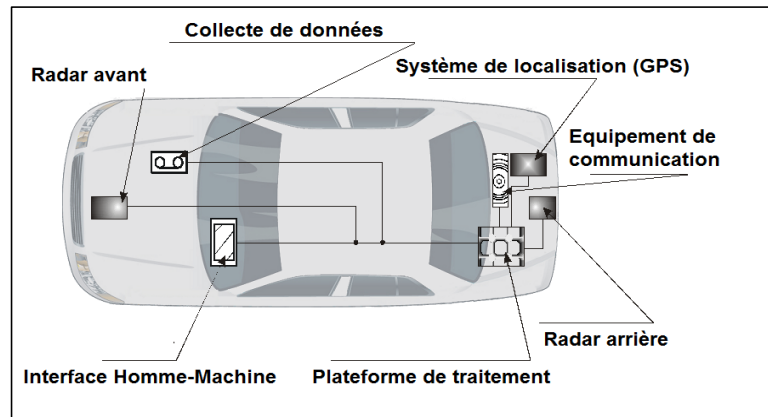


Figure I. 2 : Les éléments constituant le véhicule intelligent [4].

I.2.3 Les modes de communication dans les réseaux VANET

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 :

I.2.3.1 Mode de communication de véhicule à véhicule (V2V)

Dans ce mode, aucune infrastructure n'est utilisée, aucune installation n'est nécessaire sur les routes, chaque véhicule est équipé pour communiquer directement avec un autre véhicule 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 [5] [6].

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.

I.2.3.2 Mode de communication de véhicule avec utilisation d'infrastructures

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 [7].

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

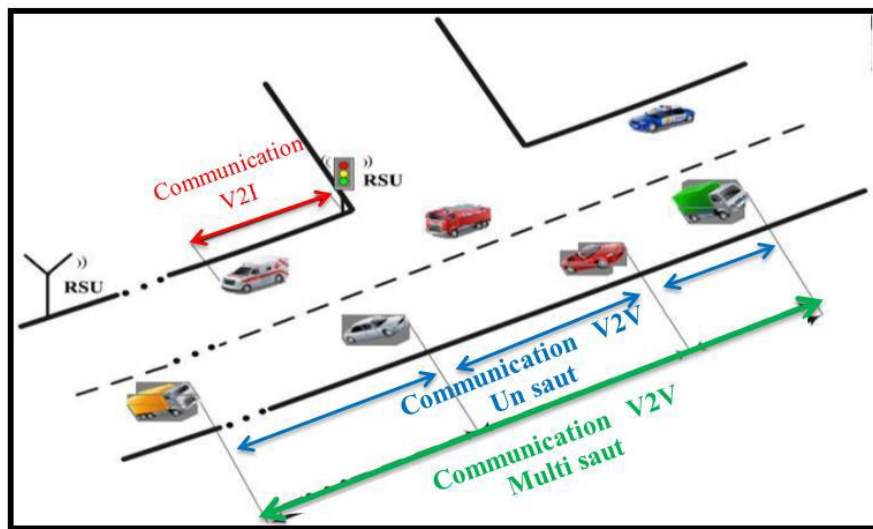


Figure I. 3 : Les modes de communication dans les VANET [8].

I.2.3.3 Mode de communication hybride

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

I.2.4 Caractéristiques des réseaux VANET

Les éléments clés qui distinguent les réseaux véhiculaires :

I.2.4.1 La Collecte d'informations et la perception de l'environnement proche

Le conducteur à bord de son véhicule peut disposer d'un certain nombre d'informations et d'une meilleure visibilité grâce aux différents capteurs de toutes catégories (Caméras, capteurs de pollution, capteurs de pluies, capteurs de l'état de la

route et de voiture, etc...), et cela lui permet de réagir aux changements de son environnement proche d'une manière appropriée.

I.2.4.2 Capacité de traitement, d'énergie et de communication

Contrairement au contexte des réseaux MANET, les éléments du réseau VANET disposent suffisamment d'énergie qui peut alimenter les différents équipements électroniques d'une voiture intelligente. Ainsi, qu'ils disposent d'une grande capacité de traitement et peuvent avoir plusieurs interfaces de communication (WIFI, Bluetooth et autres) [9].

I.2.4.3 Environnement de déplacement et modèle de mobilité

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

I.2.4.4 Forte mobilité, topologie du réseau et connectivité

La forte mobilité est le premier facteur qui distingue les réseaux véhiculaires des autres classes de réseaux sans fil, car la vitesse des véhicules varie selon l'environnement. Bien que les mouvements des véhicules soient relativement prédictibles, l'impact de la mobilité sur la connectivité et la topologie du réseau reste l'une des difficultés majeures des réseaux véhiculaires [10]. Par exemple, un nœud peut rejoindre ou quitter le réseau en un temps très court cela rend les changements de topologie très fréquente.

I.2.5 Application des réseaux VANET

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

I.2.5.1 Application dans la sécurité routière

Afin d'anticiper à un danger quelconque, les véhicules peuvent s'échanger entre eux des messages d'alertes ; les VANET permettent de prévenir les collisions, les travaux sur les routes et de détecter les obstacles, ainsi que les accidents deviennent plus rapidement détectables et l'intervention devient plus rapide, cela peut minimiser le risque de décès après un accident.

I.2.5.2 Application pour l'optimisation du trafic et aide dans la conduite

Les applications de gestion de trafic sont axées sur l'amélioration des conditions de circulation dans le but de réduire les embouteillages et les risques d'accidents. Elles fournies aux conducteurs un support technique leur permettant d'adapter leur parcours à la situation du trafic routier. Ces applications visent à équilibrer la circulation des véhicules sur les routes pour une utilisation efficace de la capacité des routes et des carrefours et à réduire par conséquent les pertes humaines, la durée des voyages et la consommation d'énergie....etc.

I.2.5.3 Application au confort du conducteur et des passagers

En plus des services liés à la sécurité des véhicules et leurs occupants, les réseaux véhiculaires peuvent aussi améliorer le confort des conducteurs et des passagers. Dans le but de rendre les voyages plus agréables, les passagers peuvent communiquer soit avec d'autres véhicules par exemple jouer en réseaux, ou avec des stations fixes « infrastructure » comme l'accès à internet, la messagerie, le chat inter – véhicule, etc.

I.2.6 La principale différence entre MANET et VANET

La principale différence entre les deux réside dans la définition du déplacement. Plutôt que de se déplacer au hasard, les véhicules tendent à se déplacer d'une façon plus organisée autour d'un réseau routier, par exemple le réseau de voies, chemins, routes, tunnels, sections, ... etc.

I.2.7 Standardisation et de normalisation dans un VANET

I.2.7.1 DSRC (Dedicated Short Range Communications)

Les premiers standards définis pour les communications sans fil dans les STI utilisent la bande de fréquence de 915MHz essentiellement pour assurer des services tels que, le péage électronique, l'accréditation et la surveillance des opérations des véhicules commerciaux [10]. Pour offrir une norme qui forme la base pour la mise en œuvre d'un large éventail des applications dans les réseaux véhiculaires, l'ITSA a sollicité la FCC (Federal Communications Commission) d'allouer une bande passante de 75MHz dans la gamme de fréquences 5,850-5,925GHz pour les communications à courte portée dédiées aux STI aux USA qui a donné naissance à la technologie DSRC.

I.2.7.2 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

L'IEEE a développé une architecture connue sous le nom de WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments), pour fournir l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires [11] [10]. L'architecture VAGUE « WAVE » définit deux modes de communication véhicule-à-véhicule et véhicule-à-infrastructure.

I.2.7.3 La norme IEEE 802.11p

La norme IEEE 802.11p [12] [10] est un amendement du standard IEEE802.11 que le groupe de travail IEEE (TGP : Task Group p) a commencé à développer en 2004 pour l'accès sans fil dans les systèmes de transport intelligents. Il définit les spécifications des couches MAC et PHY dans le cadre des réseaux véhiculaires.

I.2.8 Les défis

I.2.8.1 Sécurité

La sécurité dans les réseaux véhiculaires ad hoc est cruciale, car elle affecte la vie des gens. Il est essentiel, par exemple, que l'information vitale ne puisse pas être modifiés ou supprimés par un attaquant [13]. Les communications passant par un véhicule du réseau ainsi que des informations sur les véhicules et leurs conducteurs doivent être garantis et protégés de façon à assurer le bon fonctionnement des systèmes de transport intelligents [14].

I.2.8.2 Qualité de service

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

I.2.8.3 Canal radio fiable

Le rôle des mécanismes de gestion du canal radio est d'offrir des transmissions fiables et robustes et un partage équitable du médium de communication. Pour atteindre cet objectif dans le cas des réseaux véhiculaires, il est nécessaire de définir des méthodes qui permettent de faire face aux deux problèmes majeurs des transmissions qui sont, les interférences inter-symboles dues à la propagation des ondes par trajets multiples et l'effet Doppler causé par le mouvement des véhicules.

I.2.8.4 Routage

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

I.2.9 Les modèles de propagation pour les VANET

Il existe différents modèles de propagation radio, les plus utilisés sont : le modèle Free Space qui suppose un seul chemin de propagation direct entre les nœuds communicants, le modèle Two-Ray-Ground qui ajoute au chemin direct un autre chemin réfléchi sur le sol, le modèle Shadowing qui ajoute une composante aléatoire à la perte du signal pour modéliser l'influence de l'environnement sur le signal, les modèles de fading Ricean et Rayleigh qui tiennent compte de la propagation à trajets multiples et, le modèle Nakagami qui est un modèle mathématique configurable qui permet de simuler plusieurs types d'environnements.

L'ensemble des modèles « Free Space et Two-Ray Ground » manquent de réalisme, ils supposent un environnement plat non obstrué et modélisent les zones de couverture par des cercles parfaits. Bien que les modèles Shadowing, Ricean, Rayleigh et Nakagami intègrent les obstacles dans la modélisation de la propagation des signaux [10].

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les réseaux mobiles Ad Hoc ainsi que les réseaux véhiculaires VANET qui ne sont qu'une particularité des réseaux MANET. Nous avons signalé également leurs caractéristiques, leurs applications et leurs contraintes.

Nous avons montré aussi que la communication dans les réseaux véhiculaires avec chacun de ces modes V2I et V2V servent à améliorer la sécurité routière en échangeant des messages entre les véhicules. Ces messages doivent être pris en compte de leur importance par des concepteurs car personne ne peut garantir l'inexistence des messages arbitrairement falsifiés ou modifiés afin de causer un accident par exemple. Dans le chapitre suivant nous présenterons le routage dans les réseaux mobile Ad hoc et

les réseaux VANET, la classification des protocoles de routage selon différents critères, puis nous finissons par citer les protocoles de routage utilisés dans notre simulation.

Chapitre II : Routage dans les réseaux véhiculaires

Introduction

Les réseaux Ad hoc se caractérisent par l'absence de l'infrastructure fixe, ce qui conduit ces réseaux d'assurer leur propre organisation d'acheminer les données entre les entités mobiles. Cet acheminement requière l'utilisation de protocoles de communication ou de routages spécifiques. Ces protocoles visent à sélectionner la meilleure route pour acheminer les paquets depuis la source vers la destination. Router un flux de données dans un environnement sans fil véhiculaire, sans infrastructure (en particulier les communications V2V), et à une forte mobilité « topologie très dynamique » est une tâche difficile à résoudre. En fait, le routage est considéré comme l'un des problèmes difficiles de réseaux ad hoc véhiculaires.

Dans ce chapitre, nous allons présenter d'abord le routage dans les réseaux ad hoc de manière générale, la classification des protocoles selon l'architecture (uniforme ou non uniforme) et selon l'approche de routage (protocole proactif, réactif ou hybride). Ensuite, nous passons au routage dans les VANET, la classification des protocoles de routage selon deux critères : basé topologie et géographique, nous finissons par citer quelques protocoles de routages utilisés dans notre étude.

II.1 Le routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc

Dans ce type de réseau, chaque nœud joue le rôle d'un émetteur ou récepteur ou bien d'un relais de l'information afin que les messages arrivent au bon destinataire. Trouver et établir correctement des routes d'une manière efficace et en moins de temps possible est l'objectif ultime des protocoles de routage en réseau ad hoc.

Le problème qui se pose dans ce 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 des changements rapides et fréquents de topologie.

II.2 Classification des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc

Les protocoles de routage destinés aux réseaux mobiles Ad Hoc peuvent être classés de différentes manières, selon plusieurs critères. Nous allons citer, selon leur

architecture (uniforme ou non uniforme), leur approche de routage (protocole proactif, réactif ou hybride).

II.2.1 Classification selon l'architecture

Ce critère divise les protocoles de routage en deux classes :

II.2.1.1 Les protocoles uniformes

Dans les protocoles de routage uniformes, les nœuds du réseau jouent le même rôle pour la fonction de routage, ie, tous les nœuds sont égaux, aucune hiérarchie n'est définie entre les nœuds du réseau, chaque nœud envoie et reçoit des messages de contrôle de routage.

II.2.1.2 Les protocoles non uniformes

Contrairement aux protocoles uniformes, les protocoles de routage non uniformes «hiérarchiques » visent de limiter la complexité du routage en minimisant le nombre de nœuds qui contribuent à la détermination des routes ; cette structure hiérarchique attribue aux nœuds des rôles différents selon leurs fonctions.

II.2.2 Classification selon l'approche de routage

Dans cette classification basée sur le mécanisme d'établissement de la route, nous distinguons trois classes :

II.2.2.1 les protocoles proactifs

Les protocoles proactifs dits à diffusion de table se caractérisent par l'établissement de route à l'avance, de façon que lorsqu'un nœud désire envoyer un paquet à un autre nœud, une route soit immédiatement connue, chaque nœud maintient une ou plusieurs tables qui contiennent des informations de routage. Cette catégorie de protocole requiert un échange périodique de messages de contrôles afin de mettre à jour les tables de routages dans chaque nœud. Ainsi, de nouvelles routes seront construites à partir des informations transportées par les trames de contrôle. Ce processus est déclenché à chaque changement de topologie pour reconstruire à nouveau les routes vers toutes les destinations possibles.

Les protocoles basés sur ce principe sont : DSDV [15] et OLSR [16].

Un des avantages de ces protocoles est la disponibilité immédiate de la route lors du besoin « gain de temps ». Cependant, la bande passante diminue à cause du trafic généré par l'échange de paquets de contrôles.

II.2.2.2 Les protocoles réactifs

Le principe des protocoles réactifs également appelés protocoles de routage à la demande (On-Demand routing protocols) est de lancer le processus de recherche de routes uniquement en cas de besoin (à la demande).

Ces protocoles se basent sur la découverte et le maintien des routes. Suite à un besoin, une procédure de découverte globale de route est lancée [17], en cherchant un chemin jusqu'à la destination, une fois ce chemin trouvé, il est inscrit dans la table de routage et peut être utilisé tant que la destination est joignable ou jusqu'au moment où la route devient inutile.

Ce type de routage minimise l'échange de messages de contrôle ce qui libère la bande passante « bande passante plus large » mais le délai d'établissement de la route est plus important en comparaison avec les protocoles proactifs.

Actuellement le plus connu de ces protocoles est : DSR [18], AODV [19], TORA [20].

II.2.2.3 Les protocoles hybrides

Les protocoles hybrides combinent les deux approches précédentes. Pour bénéficier de leurs avantages, ils utilisent un protocole proactif, pour connaître les voisins les plus proches dans le but de réduire le délai et un protocole réactif dans le but de réduire la charge des paquets de contrôles. Les protocoles hybrides cumulent aussi les inconvénients des protocoles Table-driven et réactifs à savoir, les paquets de contrôles périodiques et le délai de découvertes de routes [21].

Parmi les protocoles hybrides les plus connus on peut citer le protocole : ZRP [22].

II.3 Protocoles de routage dans les réseaux VANET

II.3.1 Routage dans les VANET

Le problème de routage dans les réseaux de véhicules réside essentiellement dans l'instabilité des chemins causée par la forte mobilité des nœuds et les fragmentations fréquentes du réseau [7]. Aussi bien, la vitesse de déplacement des nœuds est beaucoup plus élevée que dans les MANET.

Dans notre étude, on s'intéresse exclusivement au routage unicast car le besoin en ressources est plus critique pour faire aboutir les communications. On distingue deux grandes classes de protocoles de routage unicast selon le type d'informations utilisées pour acheminer les données. La première classe est celle des protocoles qui se basent

sur des informations sur la topologie du réseau, ce sont les protocoles du groupe MANET. La seconde classe est celle des nouveaux protocoles dits géographiques ou de position qui se basent sur des informations supplémentaires sur la position géographique [10].

II.3.2 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET

Nous définissons deux classes de protocoles de routage: les protocoles basés sur la topologie qui sont divisés en protocoles proactifs, réactifs et hybrides et les protocoles basés sur la localisation (géographique).

II.3.2.1 Les protocoles de routage basés sur la topologie

Les protocoles de routage basés sur la topologie utilisent les informations sur les liens qui existent entre les nœuds pour l'acheminement des paquets. Cette famille de protocoles peut être divisée en trois catégories : proactifs, réactifs et hybrides, qui sont déjà défini dans la partie **II.2.2** de ce chapitre.

Chaque nœud utilise comme données l'état de ses connexions avec ses nœuds voisins ; cette information est ensuite transmise aux autres nœuds pour leur offrir une connaissance plus précise sur la topologie du réseau.

II.3.2.2 Les protocoles de routage basés sur la géographique

Les protocoles de routage géographique (ou basés sur la position) utilisent des coordonnées géographiques (par exemple, fournies par un système de géolocalisation tel que le GPS) afin de trouver un chemin vers la destination [23]. Chaque nœud source inclut l'identifiant et la position de la destination dans l'entête de tout paquet à envoyer, les nœuds recevant ce paquet utilisent les informations géographiques incluses dans ce dernier et celles disponibles dans leurs tables de routage pour retransmettre le paquet et répètent le même mécanisme jusqu'à ce que celui-ci atteigne la destination.

L'avantage majeur de ces protocoles par rapport aux protocoles basés topologie, est qu'ils réduisent considérablement les paquets de contrôles, particulièrement dans les réseaux larges et dynamiques. Parmi les protocoles géographiques les plus largement étudiés : GPSR [24], LAR [25] et DREAM [26].

II.3.3 Les protocoles de routage employés dans notre étude

On définit dans ce chapitre les trois protocoles basés sur la topologie les plus répandus et les plus considérés dans les travaux de recherche sur les VANET à savoir, AODV, DSR et DSDV.

- AODV

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

Lorsqu'un nœud source désire envoyer des données vers un destinataire, il vérifie tout d'abord dans sa table de routage s'il existe une route valide vers ce destinataire. Si la route n'est pas trouvée, le nœud source lance la procédure de découverte de route en diffusant en broadcast un paquet RREQ à la recherche d'un chemin vers le destinataire. A la réception de ce paquet, le nœud répond par un paquet RREP s'il est lui-même le destinataire ou s'il possède dans sa table une route vers la destination. Dans le cas contraire, c'est-à-dire si la table de routage ne contient pas de route vers le destinataire, le nœud rediffuse le RREQ. Une fois la route trouvée, le nœud source transmet les paquets de données en transitant de proche en proche et chaque nœud détermine le prochain relai à partir de sa table de routage. En cas de rupture de route, le nœud intermédiaire envoie un paquet RERR pour informer la source qui décide ou non de recommencer l'envoi du paquet [19].

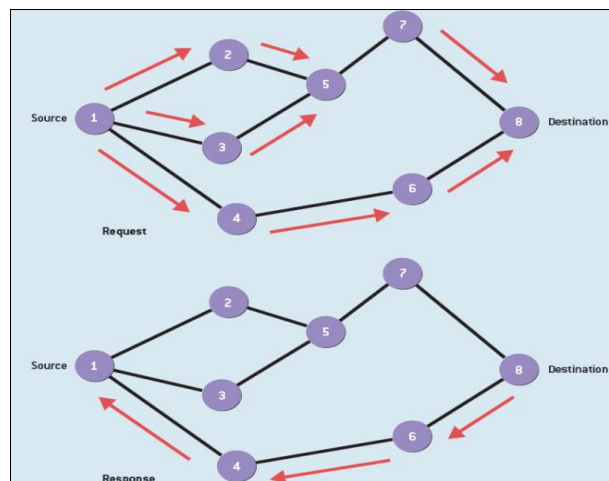


Figure II. 1 : Mécanisme de routage AODV.

- DSR

DSR pour Dynamic Source Routing est un protocole de routage réactif uniforme, simple et efficace, destiné aux réseaux ad hoc. Il est basé sur 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 entre la source et la destination « nœuds intermédiaires » n'ont pas besoin de maintenir à jour dans leurs tables les informations sur la route traversée puisque la route complète est insérée dans l'entête du paquet de données avant sa transmission [27].

DSR est composé de deux processus : la découverte de route et la maintenance de route. Le premier permet de chercher les routes nécessaires à la demande lorsqu'on ne possède pas de route vers le destinataire, tandis que le second permet de s'assurer de la maintenance des routes tout au long de leur utilisation.

- DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector)

L'algorithme DSDV a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque nœud maintient une table de routage qui contient des informations sur les destinations accessibles dans le réseau. Ces informations comprennent : le nœud suivant utilisé pour atteindre la destination, le nombre de sauts qui sépare le nœud de la destination et le numéro de séquences (SN) qui correspond à un nœud destination. Ce numéro de séquence permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d'éviter la formation de boucles de routage. Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau. 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 [15].

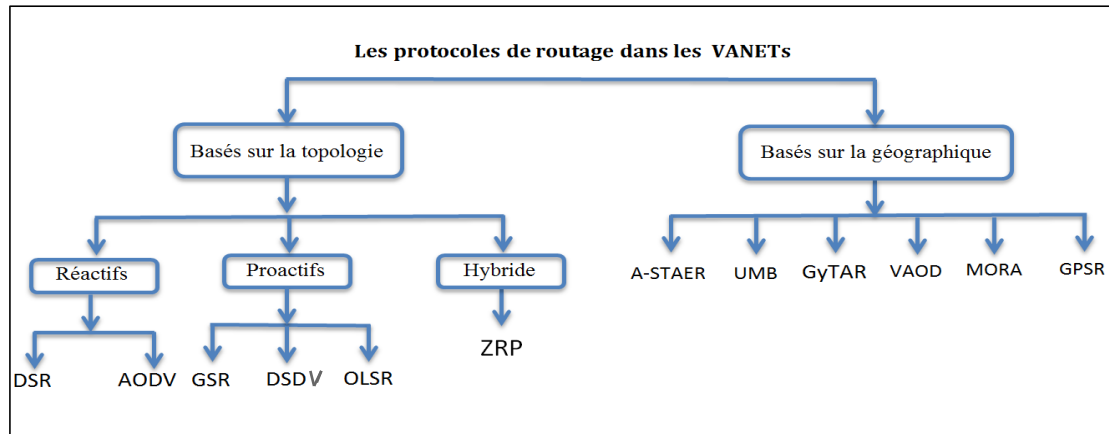


Figure II. 2 : Protocol de routage dans le réseau VANET.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le concept de routage dans les réseaux Ad Hoc, la classification des protocoles selon différents critères. Ensuite, on a défini le routage dans VANET, par conséquent, nous avons constaté que les différentes caractéristiques supportées dans VANET comme la forte mobilité qui entraîne une topologie très dynamique, et la grande vitesse rendent difficile, dans certains cas, la détermination de routes stables entre les sources et les destinations des données. En effet, cela nous a permis de conclure que le choix de l'algorithme de routage dépend de plusieurs contraintes. Enfin, nous nous sommes basés sur certains protocoles de routages qui sont de base défini dans les réseaux MANET ainsi déployé dans VANET, à savoir AODV, DSR, DSDV.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons l'implémentation des différents protocoles de routages et leur simulation dans les réseaux VANET tout en variant des modèles de mobilités afin d'en tirer un meilleur.

Chapitre III : Simulation et Discussion des résultats

Introduction

Pour arriver à une solution on doit d'abord passer par un processus d'évaluation et de validation avant chaque éventuel déploiement. Cependant, une mise en œuvre dans des environnements réelles et avec une topologie complexe, comme celle des réseaux véhiculaires, peut être difficile aussi bien sur le plan économique que logistique. Afin de contourner ce problème, la simulation est le moyen le plus facile et moins cher de concevoir, d'analyser et d'évaluer les performances de toute solution.

Dans ce chapitre on décrit d'abord la mobilité dans VANET et les fonctionnels d'un modèle de mobilité. Nous décrivons ainsi, les outils, les étapes suivies, quelques métriques et paramètres principaux utilisés dans notre simulation. Nous finissons par une discussion sur l'impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage.

III.1 Simulation dans un VANET

La simulation dans un VANET implique deux différents aspects. Le premier réside aux problèmes liés à la communication entre les véhicules. Un simulateur de réseau, comme le NS-2, fait face à ces problèmes, il se focalise sur les caractéristiques du protocole de réseau, le deuxième aspect très important est lié à la mobilité des nœuds « véhicules », c'est le simulateur de mobilité qui gère la mobilité et le mouvement des véhicules.

Les simulateurs définis pour les MANET peuvent être utilisés pour les VANET, néanmoins, ces simulateurs doivent être étendus pour inclure les solutions spécifiques aux réseaux véhiculaires tels que la norme 802.11p (un système de communication pour véhicule).

III.1.1 Simulation de la mobilité dans les VANET

Les véhicules dans les réseaux véhiculaires ne peuvent se déplacer que sur les routes ou les chemins définis dans la topologie, et doivent obéir aux règles de circulation, et d'autre part, par la prise en compte de l'interaction entre véhicules. Alors, ils ont moins de liberté dans leurs mouvements et ils sont limités par les signalisations routières telles que des panneaux d'arrêt, feux de circulation et interdépendants obstacles tels que les bâtiments...etc.

III.1.1.1 Les fonctionnels d'un modèles de mobilité

Selon les recherches de M. Fiore, J. Härrri, F. Filali et C. Bonnet [28], afin de garantir la validité du modèle de mobilité par rapport à la mobilité réelle, il doit intégrer deux niveaux, la macro-mobilité et la micro-mobilité.

La *macro-mobilité* consiste à modéliser les aspects macroscopiques qui influencent sur la circulation des véhicules. Il s'agit de décrire la topologie du réseau routier, les caractéristiques de chaque route (à double sens ou à sens unique, le nombre de voies, la vitesse limite), les règles de dépassement et de sécurité au niveau de chaque route, les signaux présents au niveau des intersections (feux de signalisation, panneaux stop)...etc.

La *micro-mobilité* se concentre plutôt sur le comportement individuel de chaque conducteur. Elle consiste à modéliser des caractéristiques telles que, accélération/décélération, le freinage et l'interaction du conducteur avec les autres conducteurs et avec l'infrastructure routière.

III.1.1.2 Modèles de mobilité dans un VANET

Le modèle de mobilité se compose de méthodes qui gèrent les déplacements à l'intérieur de la zone de simulation, qui est dans le cas des VANET, une carte routière d'une certaine dimension, et de méthodes de communication [9].

Il serait souhaitable pour une simulation d'un VANET que les descriptions des macro-mobilités et micro-mobilités soient considérées conjointement dans la modélisation des mouvements de véhicules. En effet cela est respecté dans les modèles de mobilité utilisés dans notre simulation, à savoir:

- **IDM**

Intelligent Driver Model (IDM) est modèle de mobilité pure qui ne considère que l'ajustement de la vitesse du véhicule sur la base des paramètres du véhicule « accélération/décélération », i.e. chaque véhicule est limité par la vitesse du véhicule qui le précède, cela fonctionne bien avec les routes avec une seule voie, tandis que dans la plupart des scénarios (c -à- d. urbain ou autoroute) où les routes sont plus susceptibles d'être des voies multiples qui en fait rend le changement de voie est possible. En raison de cette limitation, l'IDM a été étendu avec les changements de voie (IDM-LC) [29] et gestion de l'intersection (IDM-IM) [29] pour résoudre les problèmes a expliqué ci-dessus.

- **IDM_IM**

Intelligent Driver Model with Intersection Management (IDM_IM) est une extension du modèle IDM, qui est capable de gérer d'une manière intelligente les intersections ainsi que de ralentir et s'arrêter au carrefour ou agir selon des feux de circulation. Dans les deux cas, le conducteur doit réagir seulement en fonction du premier véhicule sur chaque route [29].

Deux différents scénarios d'intersection sont présents dans le modèle IDM-IM: une intersection réglementée des feux de circulation ou un carrefour gouverné par des panneaux d'arrêt.

Lorsqu'un véhicule se dirige vers une intersection gouverné par des feux de signalisation, il est informé par la description macroscopique de l'état du sémaaphore. Si la couleur est verte, le passage est accordé et la voiture conserve sa vitesse actuelle à travers l'intersection. Si la couleur est rouge, la traversée est rejetée et que la voiture est forcée de ralentir et s'arrêter à la jonction de la route.

- **IDM_LC**

Intelligent Driver Model with Lane Changes (IDM_LC) s'étend à l'origine du modèle IDM, c'est un modèle de mobilité qui offre des possibilités pour les véhicules d'alterner les voies et les dépassements entre les autres véhicules, en présence de routes à plusieurs voies «Multi-voies ». Ces deux caractéristiques se produisent avec la séparation des flux de trafic sur les différentes voies des routes similaires [29].

Cependant, comme le nombre de voies peut varier d'une route à l'autre, dans le cas où un véhicule s'approche d'une intersection, il peut décider de continuer à circuler sur la même voie dans le côté de la route (si la même voie est présente sur le nouveau segment) ou essayer de fusionner à sa droite (si la voie n'est pas présente dans le nouveau segment). Dans ce dernier cas, si la voie de droite est encombré, le véhicule doit s'arrêter et d'attendre jusqu'à ce qu'une place devient disponible.

III.2 Outils de la simulation

III.2.1 Objectif de la simulation

L'objectif principal de notre simulation est l'étude de l'impact des modèles de mobilités IDM, IDM_IM et IDM_LC sur les performances des protocoles de routage AODV, DSR et DSDV appliqués aux réseaux VANET dans une zone urbaine « ville de Tlemcen ». En effet, pour pouvoir obtenir des résultats de simulations proches de la

réalité, le modèle de mobilité doit être le plus réaliste possible, mais le problème que nous avons rencontré c'est que les modèles de mobilité disponibles au niveau des simulateurs sont conçus pour les réseaux MANET (par exemple le modèle Random Way Point, Random Walk et Random Direction Model) ne conviennent pas pour les réseaux VANET, pour cette raison on a choisis des modèles de mobilités conçus pour les VANET et appliqués selon le simulateur de mobilité VanetMobisim qui sont IDM, IDM_IM, IDM_LC qui sont déjà définis dans la partie **III.1.1.2** de ce chapitre.

III.2.2 Environnement de travail

III.2.2.1 Le simulateur NS2

Le plus célèbre et le plus répandu des simulateurs de réseaux est sans conteste Network Simulator 2 (NS-2) [31]. Il est disponible gratuitement et open source. L'ouverture du code source à la communauté a contribué à l'enrichir de nouveaux protocoles et de nouvelles fonctions au fil du temps. Il permet à l'utilisateur de définir un réseau et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau.

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

Bien que les scripts de simulation soient écrits en OTcl, la base du simulateur est en C++ ce qui permet à chacun de modifier à sa guise les différents protocoles.

De plus, il fait figure d'exception en matière de compatibilité avec les simulateurs de mobilité car il permet de prendre en compte facilement des formats de mobilité largement répandus.

III.2.2.1.1 Les composants d'un réseau sous NS2

Un modèle de réseau sous NS est constitué de :

- a) Nœuds : un nœud est une entité adressable. Il existe deux types de nœuds dans NS, des nœuds unicast et des nœuds multicast.
- b) Liens de communication entre les nœuds : servent à raccorder les nœuds entre eux.
- c) Agents de communication : ils modélisent les constructeurs et les consommateurs des paquets. Ces agents sont attachés aux nœuds et connectés les uns aux autres, afin d'échanger des données entre les nœuds.
- d) Application : génère le trafic de données selon certaines applications (CBR, FTP), et se sert des agents de transport.

III.2.2.1.2 Flot de simulation

NS2 interprète le script OTCL et exécute la simulation. Les résultats obtenues (Fichier trace et fichier NAM) peuvent être visualisés avec l’outil NAM (Network Animator) et analysés à partir des courbes tracées par l’outil Xgraph (Un traceur de graphes).

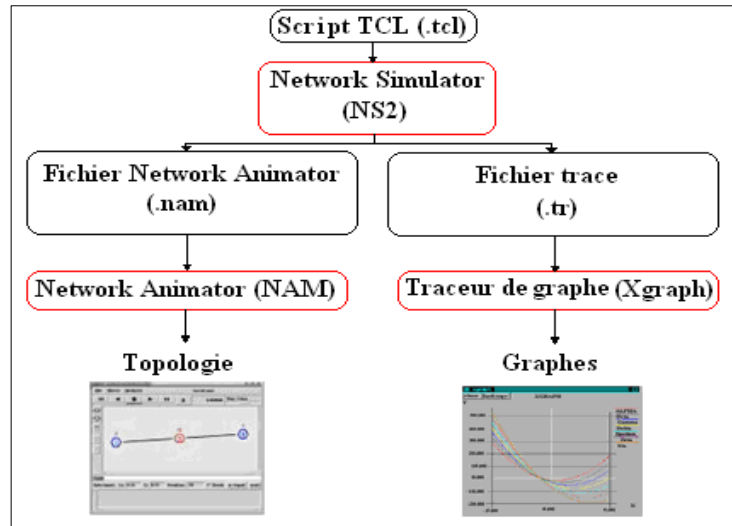


Figure III. 1 : Flot de simulation avec NS2.

a) NAM

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

Le NAM peut être démarré en tapant la commande « nam <nom du fichier NAM (.nam)>», dans le shell de Linux.

b) Fichier trace (résultat de la simulation)

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

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

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
s	2.556838879	_1_	AGT	---	0	cbr	512	[0 0 0 0]	-----	[1:0 2:0 32 0]	[0]	0	0

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

c) **AWK**

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

III.2.2.2 Le simulateur de mobilité VanetMobisim

VanetMobiSim [32] est une extension de CanuMobiSim [33]. En effet, CanuMobiSim est une plateforme flexible pour la modélisation de la mobilité. Cette plateforme est mise en œuvre comme une application JAVA autonome et peut être utilisée avec presque n'importe quel outil de simulation pour des réseaux mobiles (format NS-2, GloMoSim [30], et QualNet [34]).

La modélisation des VANET inclut des relations entre véhicules mais aussi entre véhicules et infrastructures. Au niveau mobilité, elle doit également inclure les panneaux stop, les feux de circulation et une mobilité basée sur l'activité humaine. VanetMobiSim regroupe tous ces éléments, i.e. il utilise les deux aspects macroscopiques et microscopiques, il permet aussi d'extraire des cartes à partir des bases de données tel que TIGER, GDF ou OSM. Ainsi que de créer des cartes manuellement ou aléatoirement.

VanetMobiSim offre autant de possibilités et de fonctionnalités pour créer des scénarios réalistes. En outre, des scénarios de simulation pour VanetMobiSim sont définis au format XML à l'aide des balises, facilitant la configuration de scénario et d'une manière plus pratique.

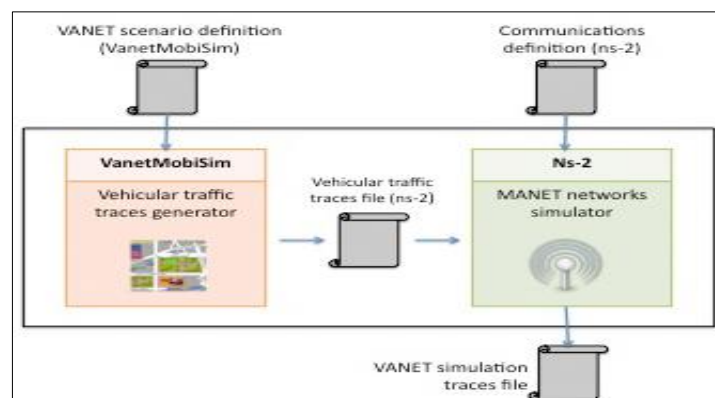


Figure III. 3 : Simulateur de VANET basée sur le couplage de VanetMobisim et NS2 [35].

III.3 Etapes de la simulation

- **Etape 1**

Pour cette étape, on importe d'abord une partie de la carte géographique d'une zone urbaine existante dans notre ville « Tlemcen » à partir de OpenStreetMap [36], un outil intégrés dans VanetMobiSim qui collecte des données dans le monde entier sur les routes, voies ferrées, les rivières, les forêts, les bâtiments...etc.

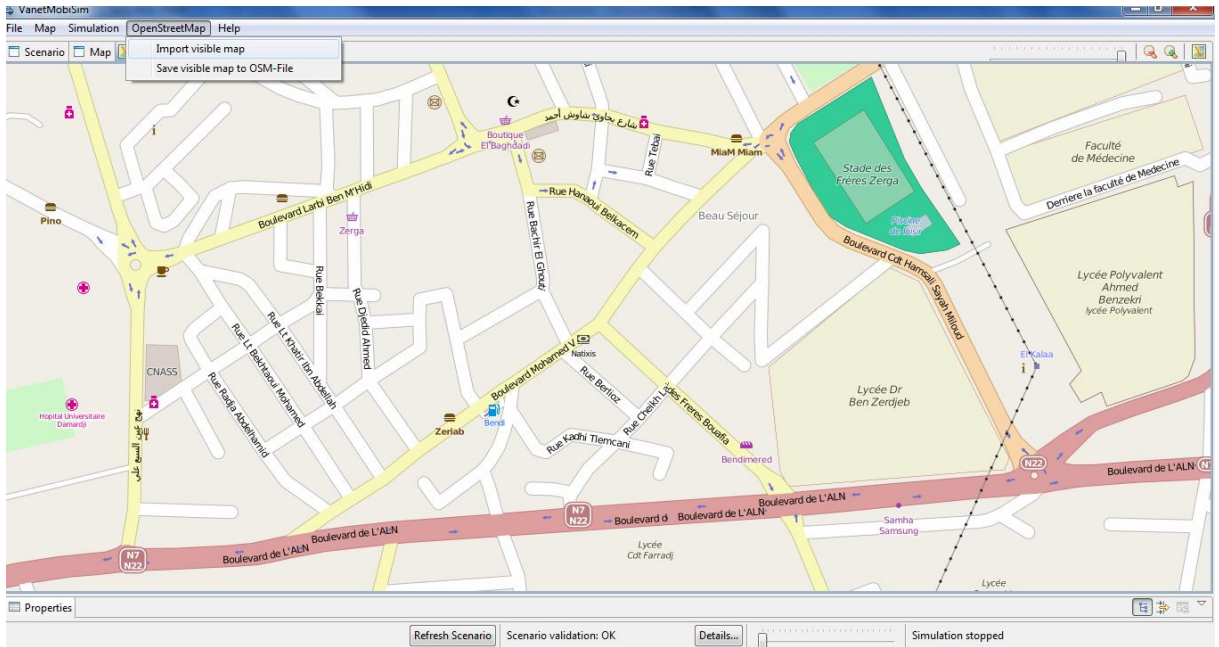


Figure III. 4 : La zone d'étude avant importation.

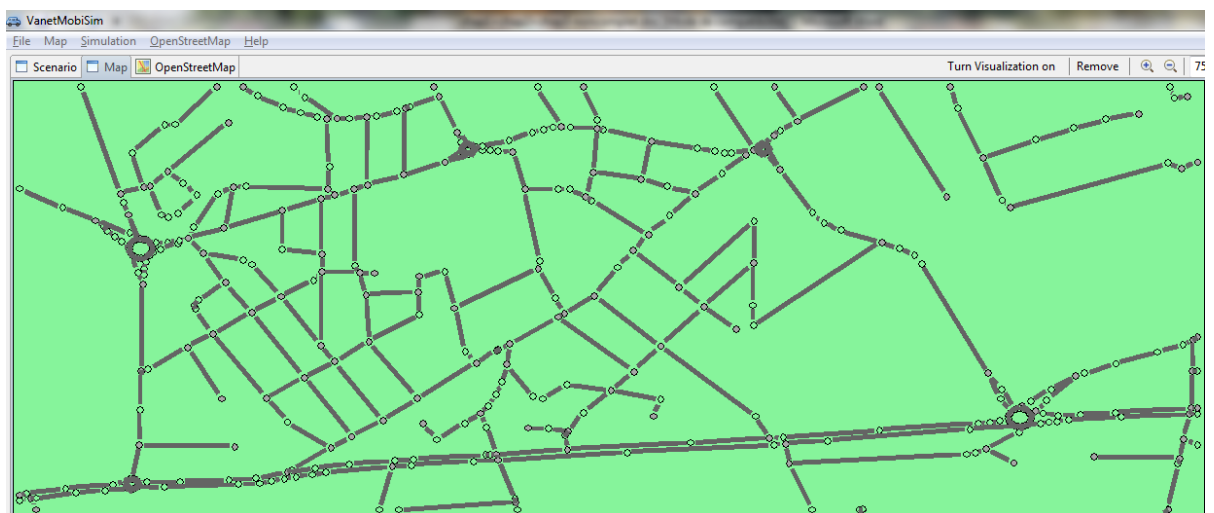


Figure III. 5 : La zone d'étude après importation.

Puis cette zone choisie sera exportée en un fichier XML. La **Figure III.6** montre cette étape.

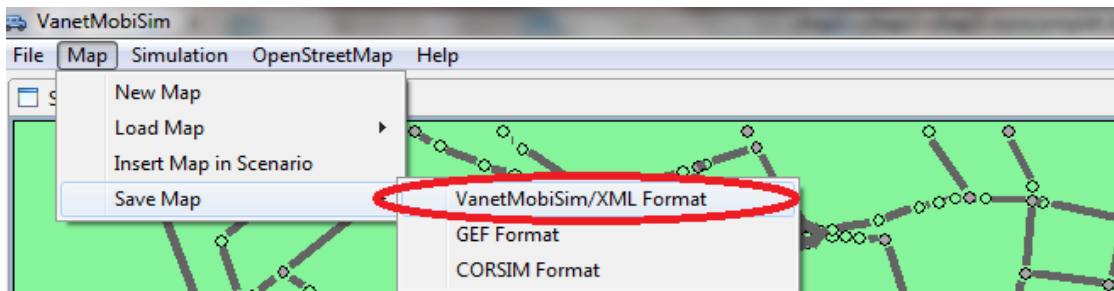


Figure III. 6 : Exportation de la carte routière en fichier XML.

Ensuite on ajoute un module « XMLReader » qui permet d’insérer ce fichier XML dans le simulateur VanetMobiSim, afin de générer la mobilité sur cette zone. Cela est illustré dans la **Figure III.7**.

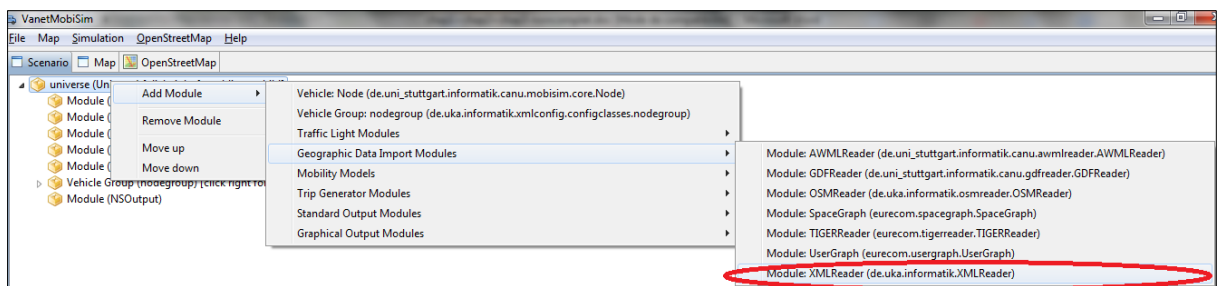


Figure III. 7 : Ajout du module XMLReader.

- **Etape 2**

Dans cette étape, on rajoute des modules qui nous permettent de saisir les paramètres de mobilité, par exemple le module « Vehicule Group : nodegroup » qui crée les nœuds en leur spécifiant le modèle de mobilité en insérant un nouveau module « Mobility Models ». La **Figure III.8** nous indique les modèles que nous choisissons dans notre simulation.

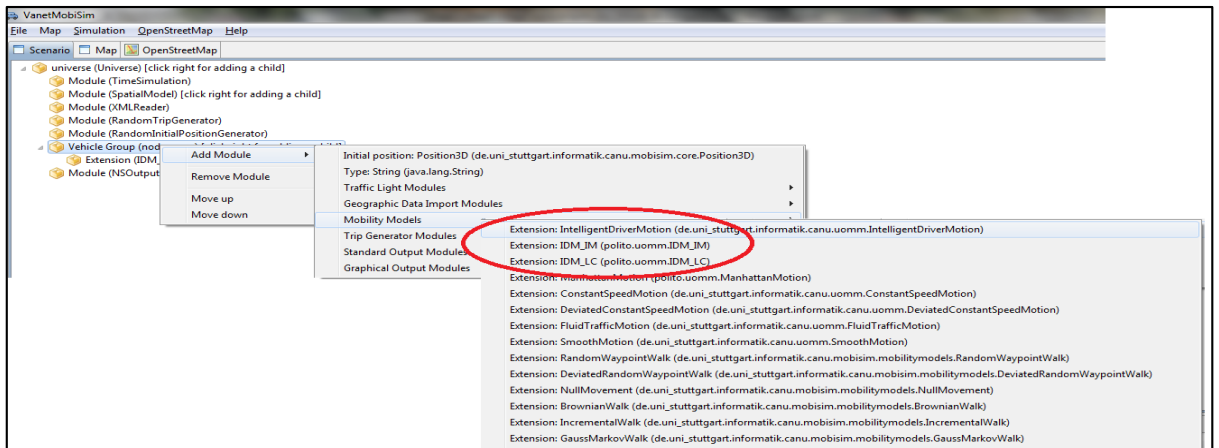


Figure III. 8 : Ajout de module Mobility Model.

Après avoir saisi les paramètres nécessaires, on lance l'exécution du simulateur VanetMobiSim en générant un fichier de mobilité au format NS2 qui va être intégré par la suite dans le script TCL.

- **Etape 3**

Avant de lancer l'exécution du script TCL, un fichier de trafic doit être généré par la commande suivante Figure III.9 :

```
hadjer@hadjer ~/Bureau/ns-allinone-2.35-RC10/ns-2.35/indep-utils/cmu-scen-gen $ ns cbrgen.tcl -type cbr -nn 30 -seed 1 -mc 10 -rate 4 > traffic
```

Figure III. 9 : La commande nécessaire pour générer le fichier de trafic.

Ensuite, on injecte le fichier de trafic généré dans le script TCL au niveau de la partie déclarative avec l'instruction « set val (cp) traffic », par contre à propos du fichier de mobilité on l'injecte directement dans la commande « ns » comme illustré dans la **Figure III.10**.

```
hadjer@hadjer ~/Bureau/AODV/IM30 $ ns AODV.tcl
Usage: AODV.tcl arguments > output log file
    mandatory arguments:
        [-nn (30/60/90/120/150) ]
        [-mobility ]
        [-traces ]
hadjer@hadjer ~/Bureau/AODV/IM30 $ ns AODV.tcl -nn 30 -mobility mobilite -traces trace.tr
```

Figure III. 10 : Lancement de l'exécution du script TCL.

Après l'exécution du script TCL, un fichier de trace qui enregistre toutes les évènements de routage au cours de la simulation est généré.

Finalement, l'outil AWK est nécessaire pour filtrer les événements de trace en calculant les données importantes en tapant la commande suivante indiquée dans la **Figure III.11** :

```
hadjer@hadjer ~/Bureau $ awk -f calcul.awk trace.tr
```

Figure III. 11 : La commande awk.

III.4 Résultats et discussion

III.4.1 Métriques de simulation

Les métriques sont des paramètres de test du protocole de routage qui permettent de mesurer les performances de celui-ci.

Dans notre étude, nous avons pris en compte les métriques suivantes :

a) Calcul de taux de paquet délivré

Le taux de délivrance des paquets est le rapport entre le nombre de paquets reçus (par toutes les destinations du trafic) et le nombre de paquets émis (par toutes les sources de trafic). Pour calculer cette métrique, deux compteurs doivent être définis. Le premier devrait être augmenté pour chaque paquet envoyé par le nœud source. Le deuxième devrait être augmenté pour chaque paquet reçu par le nœud de destination. Finalement le rapport de la livraison de paquet est défini par la formule (1) :

$$\text{Taux de délivrance de paquet} = \frac{\text{nombre de paquet reçu}}{\text{nombre de paquet envoyé}} \quad (1)$$

b) Calcul du délai de bout en bout

Le délai de bout en bout est la durée prise par le paquet à partir de sa source d'envoi vers sa destination de réception. Nous calculons ce délai de chaque paquet dans le réseau suivant la formule (2):

$$\text{Délai bout en bout} = \text{instant de réception de paquet} - \text{instant d'émission de paquet} \quad (2)$$

c) Calcul de taux de perte de paquet

Le taux de perte des paquets est le rapport entre le nombre de paquets perdus et le nombre total de paquets envoyés :

$$\text{Taux de perte} = \frac{\text{le nombre de paquet perdus}}{\text{le nombre de paquet émis}} \quad (3)$$

III.4.2 Paramètres de simulation

Les paramètres de simulation utilisés ainsi que les paramètres des modèles de mobilités sont respectivement résumés dans la **Table III.1** et la **Table III.2**.

Table III. 1 : Paramètres de simulation.

Paramètres	Valeurs
Simulateur	NS-2.35
Protocoles	AODV, DSR, DSDV
Nombre des nœuds	30, 60, 90, 120, 150
Vitesse des nœuds	10, 25, 40, 55,70 Km/h
Temps de simulation	100 s
Terrain de simulation	X=2058 m, Y=1273 m
Nombre de trafic sources	10 (Randomly selected)
Couche physique	802.11p (PHY/MAC)
Modèle de propagation	Nakagami
Taille du paquet	512 bytes
Type de Trafic de données	CBR
Modèle de mobilité	IDM, IDM_IM, IDM_LC
Nombre de nœuds	100

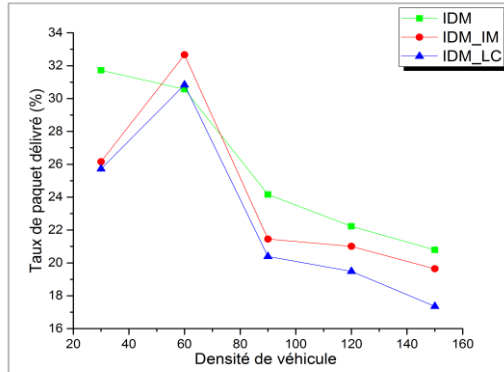
Table III. 2 : Paramètre de modèle mobilité.

Paramètres	Valeurs
Accélération maximale	0.6m/s ²
confortable décélération	0.9m/s ²
Seuil d'accélération pour le changement de voie	0,5 m/s ²

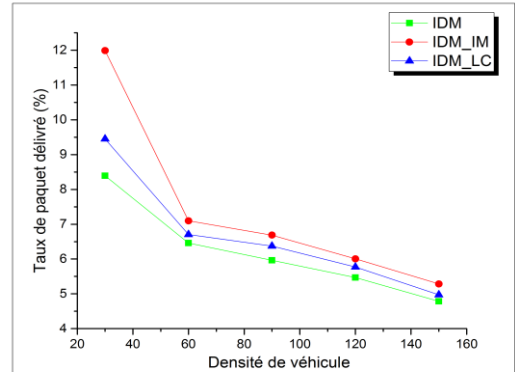
III.4.3 Evaluation des différents scénarios et interprétation

Scenario 1 : la variation du nombre de nœuds

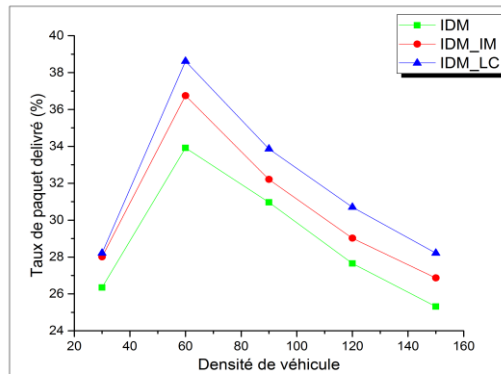
1) Taux de paquets délivrés



(a) AODV



(b) DSR



(c) DSDV

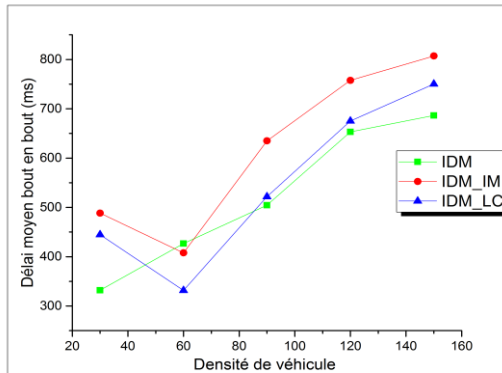
Figure III. 12 : Le taux de paquet délivré VS densité de véhicules.

D'après les graphes schématisés dans les **Figure III.12** (a) et la **Figure III.12** (c), on remarque que lorsqu'il y a une faible densité (de 30 à 60 nœuds), le taux de paquets délivrés des modèles IDM, IDM_IM et IDM_LC augmente avec un taux maximum qui peut atteindre 33% dans le modèle IDM_IM selon le protocole AODV et 39% pour le modèle IDM_LC dans le protocole DSDV, cela s'explique par les caractéristiques de chaque modèle de mobilité, dans le modèle IDM qui impose au véhicule de respecter toujours le véhicule qui le précède avec une accélération/décélération de vitesse ce qui conduit à des liens stables entre les véhicules ainsi une livraison du paquet avec succès, le même résultat dans le modèle IDM_IM qui prend en considération l'arrêt aux

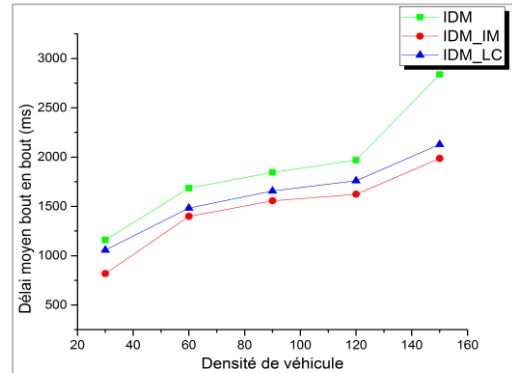
intersections contrôlées par des feux de circulations ou bien des panneaux d'arrêt ce qui provoque une distribution uniforme de nombre de véhicules au niveau de ces intersections. Et pour le modèle IDM_LC qui performe le meilleur dans le cas du protocole DSDV, se caractérise par le dépassement des véhicules et le changement de voie d'où le véhicule a plus de choix de trouver plusieurs chemins pour acheminer le paquet vers la destination.

Par contre quand les nœuds dépassent 60 nœuds, le taux de paquets délivrés diminue à cause du «clustering effect», car les ralentissements de vitesse causés par les effets macroscopiques, exemple les feux de signalisation, engendrent une forte densité au niveau des intersections en conséquent, plusieurs transmissions simultanées qui peuvent générer des collisions de paquets. Pour la même raison, on explique la décroissance continue du taux de paquet délivré des trois modèles de mobilité dans la **Figure III.12** (b) selon le protocole DSR depuis 12% jusqu'à 5%. Ceci dit, que le protocole de routage DSR est un protocole qui possède un taux de paquets le plus bas par rapport à AODV et DSDV et quel que soit le modèle de mobilité choisi.

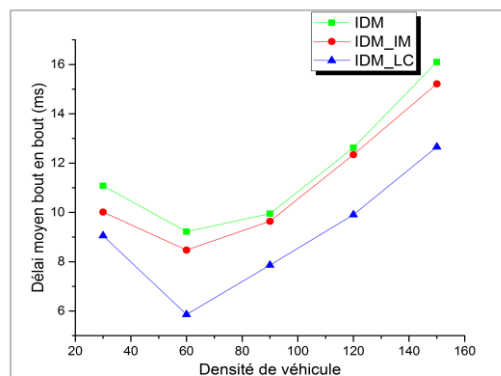
2) Délai de bout en bout



(a) AODV



(b) DSR



(c) DSDV

Figure III. 13 : Délai moyen de bout en bout VS densité de véhicules.

On commence notre analyse par les protocoles AODV et DSDV représentés dans les **Figures III.13** (a), **Figures III.13** (c) respectivement, en comparant parallèlement ces graphes avec celles du taux de paquets délivrés représenté dans les **Figures III.12** (a), (c) dans ce même intervalle, on constate qu'autant le taux de paquets délivrés augmente autant le délai de transmettre le paquet depuis la source vers la destination diminue et vice versa, ceci dépend du nombre de succès ou d'échec des différentes tentatives d'envoi par les nœuds sources vers les nœuds intermédiaires. En cas d'échec la source doit retransmettre donc elle va prendre plus de temps, en cas de succès le paquet atteint la destination avec un plus court chemin et en un temps minime.

D'autre part, on remarque clairement que le délai du modèle IDM dans le protocole AODV suit la même évolution que celle des modèles représentés dans le protocole DSR (**Figures III.13** (b)). En effet, le délai croît et atteint la valeur maximale dans le protocole DSR avec 3 secondes, cela veut dire que les liens entre les nœuds sont souvent rompus et la plupart du temps sera gaspillé pour le rétablissement de nouvelles routes. Ce type de protocole dit « réactif » présente régulièrement le retard le plus élevé, cela peut s'expliquer par le fait que son processus de découverte de route prend un temps assez long par rapport à d'autres protocoles.

3) Taux de perte de paquet

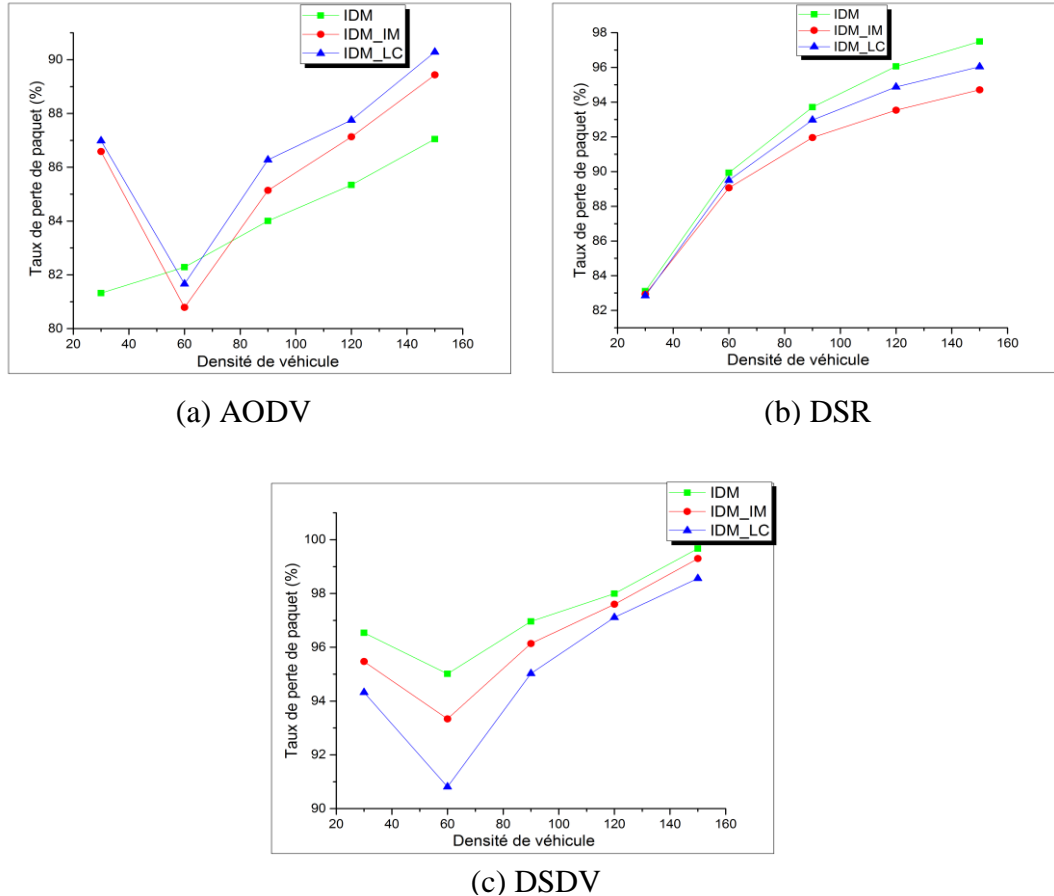


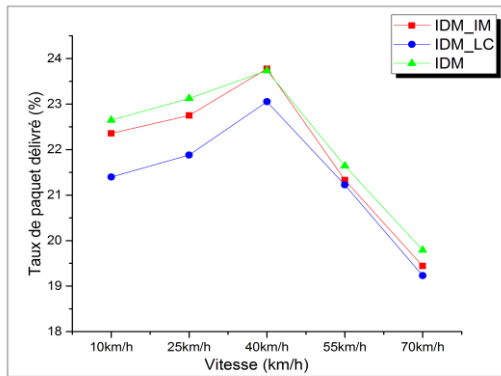
Figure III. 14 : Taux de perte VS densité de véhicules.

D'après la **Figure III.14** présenté ci-dessus dans l'intervalle des nœuds [30 à 60], on remarque que le taux de perte de paquets dans les deux modèles de mobilité IDM_IM et IDM_LC dans la **Figure III.14** (a) et les trois modèles dans la **Figure III.14** (c) diminue car lorsque la densité est faible il n'y a moins de collisions. D'autre part, lorsque le nombre de nœuds augmente {plus de 60 nœuds}, ces modèles montrent une croissance remarquable du taux de perte qui atteint 90% dans le protocole AODV et 100% pour DSDV, car la forte densité engendre un nombre élevé de transmissions simultanées au niveau des intersections alors les paquets transférés au niveau de celles-ci seront rejetés par échec de transmission. Les mêmes raisons pour le protocole DSR qui montre une croissance continue du taux de perte représenté dans la **Figure III.14**

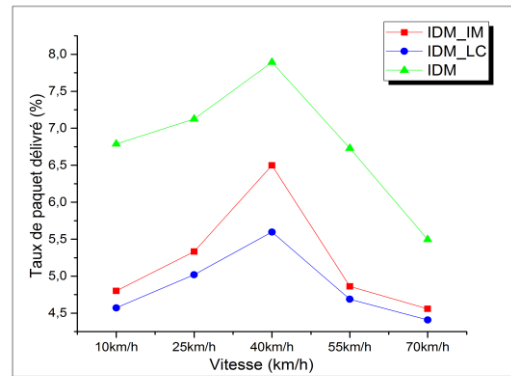
(b). Par conséquent, le protocole AODV figure dans ce cas le meilleur protocole en termes de taux de perte de paquets.

Scenario 2 : la variation de la vitesse des nœuds

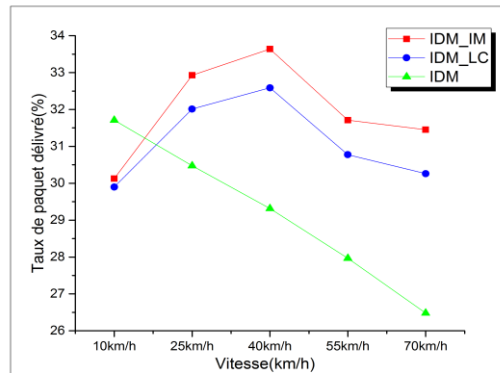
1) Taux de paquets délivrés



(a) AODV



(b) DSR



(c) DSDV

Figure III. 15 : Taux de paquets délivrés VS vitesse.

Les figures **Figure III.15** (a), **Figure III.15** (b) et **Figure III.15** (c) montrent le taux de paquets délivrés pour différents modèles de mobilité sous différentes vitesses pour les trois protocoles AODV, DSR et DSDV. D'après ces figures, on observe une augmentation du taux de paquets délivrés pour les modèles IDM_IM, IDM_LC et IDM avec une faible mobilité, cela s'explique par le fait que la faible vitesse de [10km/h-40km/h] va être réduite encore moins à cause des accélérations/décélérations, ralentissement de vitesse et l'arrêt aux intersection, le changement de voie et par conséquent le réseau reste relativement stable et une fois qu'une route est établie, elle continue à être disponible pour une longue période car les véhicules restent toujours dans la même portée de transmission. Par contre avec une forte mobilité (>40km/h), le

taux de paquets délivrés diminue pour les trois modèles à cause du changement continue dans la position des nœuds qui rend difficile d'établir la connexion entre les véhicules et la rupture fréquente des routes entre la source et la destination. Quand les nœuds se déplacent rapidement dans la topologie, la disponibilité des routes entre la source et la destination s'affaiblit, or l'inadaptation des protocoles aux changements fréquents de la topologie emmène une large consommation et occupation de la bande passante pour maintenir les routes ce qui entraîne une réduction de la livraison des paquets.

2) Délai moyen de bout en bout

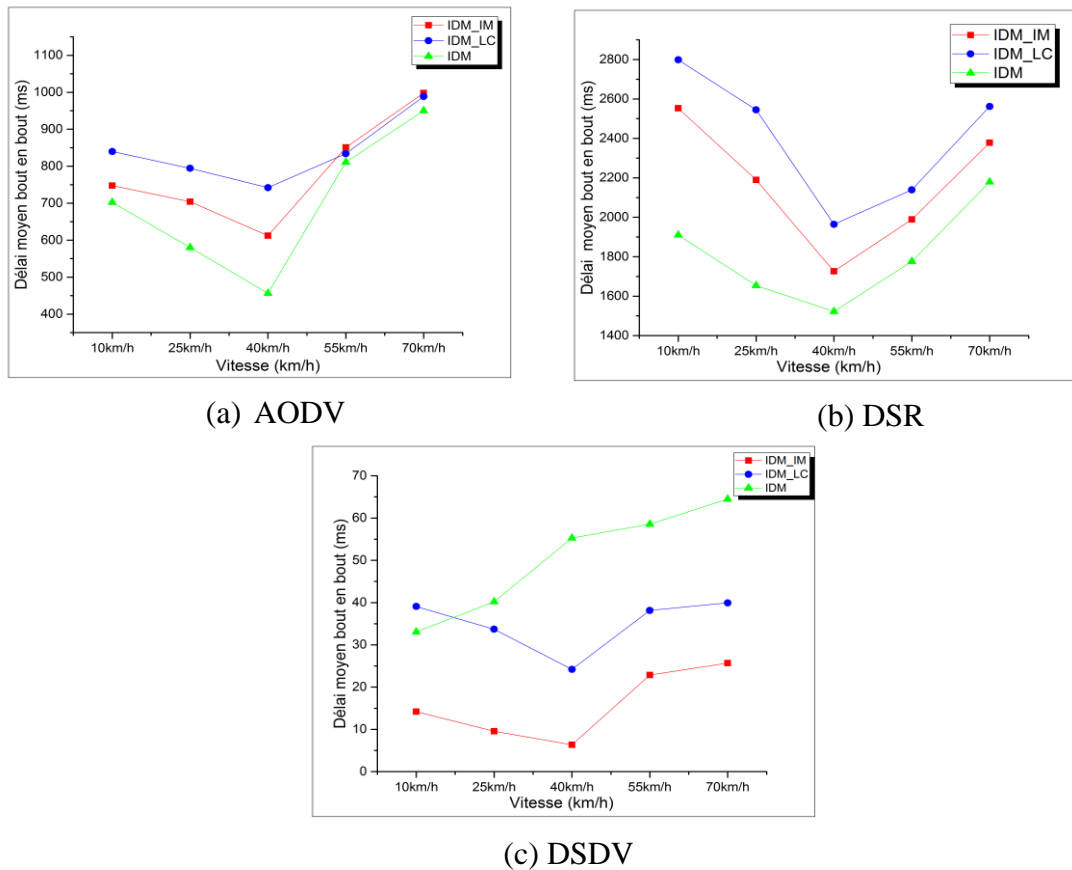


Figure III. 16 : Délai moyen de bout en bout VS vitesse.

On remarque dans la **Figure III.16 (a)**, **Figure III.16 (b)** et la **Figure III.16 (c)** une réduction du délai de bout en bout pour les trois modèles de mobilité IDM_IM, IDM_LC et IDM avec une faible mobilité entre 10km/h et 40km/h, dans ces modèles il y'as un ralentissement de la vitesse initiale cependant une durée de lien très élevé entre les véhicules par la suite une continuité de la communication entre les nœuds intermédiaires ; donc un délai minimum entre la source et la destination. À partir de

40km/h, on constate une augmentation de délai pour les trois modèles cela s'explique par l'instabilité des routes entre la source et la destination car les nœuds intermédiaires se déplacent fréquemment et rapidement, de ce fait les nœuds prennent énormément du temps pour établir une route entre la source et la destination.

3) Taux de perte de paquet

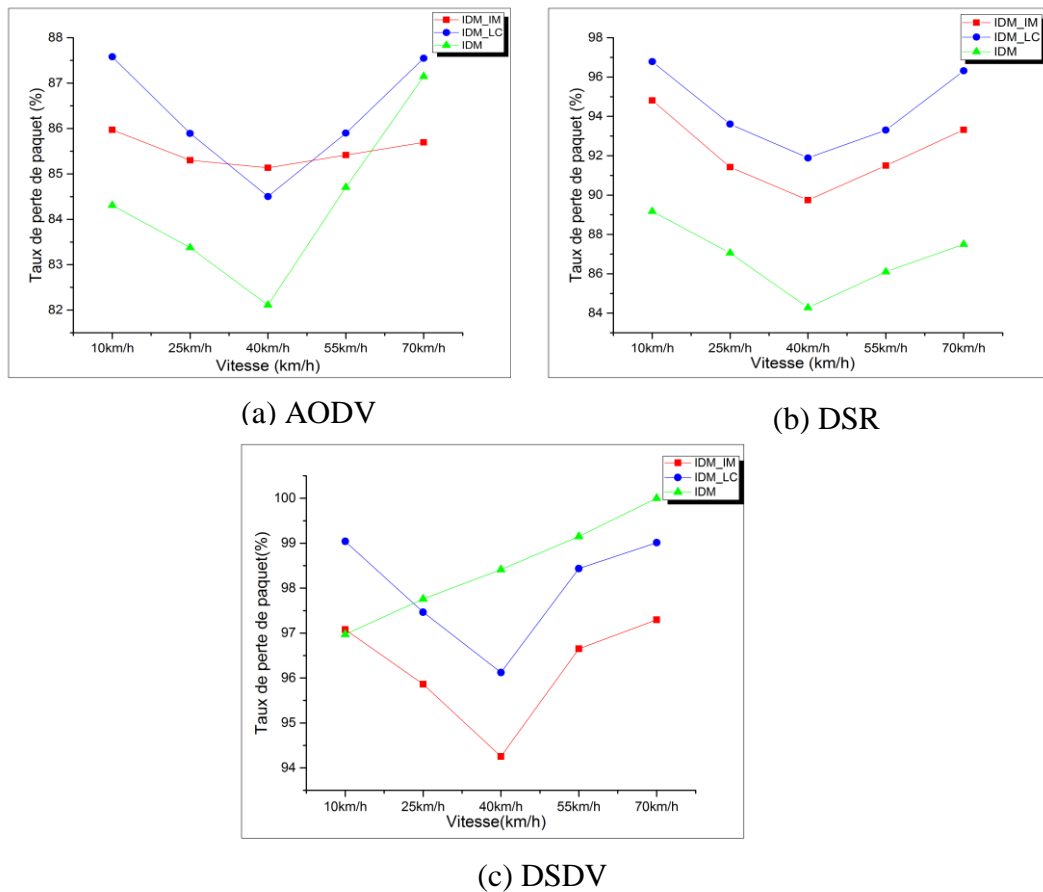


Figure III. 17 : Taux de perte VS Vitesse.

Selon la **Figure III.17 (a)**, **Figure III.17 (b)** et **Figure III.17 (c)**, on remarque une diminution de taux de perte lorsqu'il y a une faible mobilité dans l'intervalle [10km/h-40km/h] pour les modèles IDM_IM, IDM_LC et IDM. Ces derniers permettent aux véhicules de rouler avec une faible vitesse en conduisant les différentes sources de trouver un chemin stable vers la destination. Quand la mobilité augmente (>40km/h), les véhicules trouvent une difficulté de trouver l'emplacement vers la destination à cause du changement fréquent de la topologie provoquant des échecs (coupures) de liaisons ainsi qu'un taux de perte de paquets élevé qui peut atteindre 100% dans le protocole DSDV, ce qui le rend le protocole le moins performant en terme de taux de perte de paquets.

III.4.4 Étude comparative globale

a) Scenario1 :

Nous résumons dans la **Table III.3**, les performances des modèles de mobilité dans le scénario 1, i.e. en variant la densité des véhicules dans un milieu urbain.

Table III. 3 : Performance des modèles de mobilité pour scenario1.

Protocol de routage	Modèle de mobilité	Taux de paquets delivers	Débit moyen	Délai de bout en bout	Taux de perte de paquets
AODV	IDM	Bon	Bon	Bon	Bon
	IDM_IM	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre
	IDM_LC	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
DSR	IDM	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	IDM_IM	Bon	Bon	Bon	Bon
	IDM_LC	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre
DSDV	IDM	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	IDM_IM	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre
	IDM_LC	Bon	Bon	Bon	Bon

b) Scenario 2 :

Nous résumons dans la **Table III.4**, les performances des modèles de mobilité dans le scénario 2, i.e. en variant la vitesse des véhicules dans un milieu urbain.

Table III. 4 : Performance des modèles de mobilité pour scenario2.

Protocol de routage	Modèle de mobilité	Taux de paquet delivers	Débi moyen	Délai bout en bout	Taux de perte de paquet
AODV	IDM	Bon	Bon	Bon	Bon
	IDM_IM	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre
	IDM_LC	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
DSR	IDM	Bon	Bon	Bon	Bon
	IDM_IM	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre
	IDM_LC	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
DSDV	IDM	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	IDM_IM	Bon	Bon	Bon	Bon
	IDM_LC	Mediocre	Mediocre	Mediocre	Mediocre

D’après le scenario1 « variation des nœuds », on conclut que le modèle IDM s’adapte uniquement avec le protocole AODV par rapport aux modèles IDM_IM et IDM_LC. En effet, le modèle IDM_IM performe bien avec le protocole DSR par rapport aux modèles IDM et IDM_LC, et dans le protocole proactif DSDV, le modèle IDM_LC est le meilleur dans ce cas. En outre dans le scenario2 « variation de la vitesse », le modèle IDM performe seulement avec les protocoles réactifs AODV et DSR. Par contre dans le protocole proactif DSDV, le modèle IDM_IM est plus performant que les autres modèles.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les trois modèles de mobilité réaliste (IDM, IDM-IM et IDM-LC) générés par l'outil VanetMobiSim, pour montrer leur impact sur les trois protocoles de routage (AODV, DSR et DSDV) à l'aide de la propagation Nakagami à l'égard de certaines métriques dans un scénario urbain.

En raison de nombreuses intersections présentes dans notre topologie, ainsi que les caractéristiques du modèle IDM_IM, ceci nous a permis de conclure qu'il est le meilleur modèle performant sur les protocoles AODV, DSR et DSDV.

Conclusion générale et perspective

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

Le fait que la topologie du réseau soit de type très dynamique rend d'autant plus difficile a conservé les informations sur les nœuds, en effet le routage s'impose avec un rôle très important afin d'acheminer ces informations vers la bonne destination, ainsi la mobilité qui est largement plus contrainte que dans les réseaux ad hoc traditionnels.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur la simulation des réseaux véhiculaires, nous avons testé le protocole AODV et DSR de la classe des protocoles réactifs et le protocole DSDV de la classe des protocoles proactifs conçus pour les MANET dans les réseaux VANET. Nous avons montré l'influence d'une modélisation réaliste de la mobilité sur ces protocoles.

La conclusion et résultat auquel nous avons abouti montrent que les performances du réseau se dégradent tant que la densité et la vitesse des nœuds augmente, puisqu'on a observé un PDR (Taux de paquet délivré) assez faible (<50%) et un taux de perte de paquet très élevé qui peut atteindre (100%) pour ce réseau de véhicules, car la différence entre les vitesses des véhicules rend la topologie du réseau change en permanence et de manière très rapide ce qui implique des changements fréquents de route et donc une surcharge de gestion du routage, en effet les modèles de mobilités IDM, IDM-IM et IDM_LC ont une influence sur les performances des protocoles de routage AODV, DSR et DSDV, par conséquent les protocoles de routages appliqués dans les MANET ne sont pas appropriés pour les VANET.

En outre, le fait que le réseau soit à connectivité partielle ou intermittente souligne que la gestion de routage doit être différente des approches topologiques utilisées dans les réseaux ad hoc classiques MANET.

En effet, Il serait également intéressant d'enrichir l'analyse des mécanismes de routage en considérant les nouveaux protocoles qui se basent sur les informations géographiques pour la détermination des routes comme le GPSR.

Bien que loin d'être le dernier mot, notre travail fournit un bon point de départ pour approfondir la compréhension et le développement des protocoles de routage géographiques.

Bibliographie

- [1] Burgod Céline, Contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc, Thèse de doctorat, Limoges, 2009.
- [2] Macker Joseph, Mobile ad hoc networking (MANET): Routing protocol performance issues and evaluation considerations, 1999.
- [3] Ken Leonard, Connected Vehicle Pilots Coming to a Region Near You, <https://www.dot.gov/fastlane/connected-vehicle-pilots-coming-region-near-you>. (consulté en Mai 2015)
- [4] Hubaux Jean-Pierre, Capkun Srdjan and Luo Jun, The security and privacy of smart vehicles, IEEE Security & Privacy, No 3, pp. 49-55, 2004.
- [5] Santa José, Gómez-Skarmeta Antonio F. and Sánchez-Artigas Marc, Architecture and evaluation of a unified V2V and V2I communication system based on cellular networks, Computer Communications, Vol. 31, No 12, pp. 2850-2861, 2008.
- [6] Xu Qing, Segupta R., Jiang Daniel and Chrysler D., 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, IEEE, pp. 2451-2455, 2003.
- [7] Jerbi Moez, Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain: Routage et GeoCast basés sur les intersections, Thèse de doctorat, Evry-Val d'Essonne, 2008.
- [8] Zhuo Xuejun, Hao Jianguo, Liu Duo and Dai Y., Removal of misbehaving insiders in anonymous VANETs, Proceedings of the 12th ACM international conference on Modeling, analysis and simulation of wireless and mobile systems, ACM, pp. 106-115, 2009.
- [9] Meraihi Yassine, Routage dans les réseaux véhiculaires (VANET), Thèse de doctorat, Université M'hamed Bougara de Boumerdès, 2011.
- [10] Ali Kahina Ait, Modélisation et étude de performances dans les réseaux VANET, Thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 2012.
- [11] Jiang Daniel and Delgrossi Luca, IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments, Vehicular Technology Conference, pp. 2036-2040, 2008.
- [12] IEEE 802.11 Working Group, IEEE Standard for Information Technology–Telecommunications and information exchange between systems–Local and metropolitan area networks–Specific requirements–Part 11: Wireless LAN Medium

Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, IEEE Std 802.11, 2012.

[13] Zeadally Sherali, Hunt Ray, Chen Yuh-Shyan, Irwin A. and Hassan A., Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges, Telecommunication Systems, Vol. 50, No 4, pp. 217-241, 2012.

[14] Hasbullah Halabi, Ahmed Soomro Irshad and Ab Manan Jamalul-lail, Denial of service (dos) attack and its possible solutions in VANET, World Academy of Science, Engineering and Technology (WASET), Vol. 65, pp. 411-415, 2010.

[15] Perkins Charles E. and Bhagwat Pravin, Highly dynamic destination-sequenced distance-vector routing (DSDV) for mobile computers, ACM SIGCOMM computer communication review, Vol. 24, No. 4, pp. 234-244, 1994.

[16] Clausen Thomas and Jacquet Philippe, Optimized link state routing protocol (OLSR), No. RFC3626, 2003.

[17] Sedrati M., Aouragh L., Guettala L. and Bilami A., Etude des Performances des Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad-Hoc, 4th International Conference on Computer integrated manufacturing CIP, 2007.

[18] Johnson David B., Maltz David A. and Hu Yih-Chun, The dynamic source routing protocol for mobile ad hoc networks, IETF MANET Working Group Internet Draft, 2004.

[19] Perkins Charles, Belding-Royer Elizabeth and Das Samir, Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing, 2003.

[20] Park Vincent D. and Corson M., A performance comparison of the temporally-ordered routing algorithm and ideal link-state routing, Computers and Communications, ISCC'98, Proceedings Third IEEE Symposium on, IEEE, pp. 592-598, 1998.

[21] Wang Lan and Olariu Stephan, A two-zone hybrid routing protocol for mobile ad hoc networks, Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, Vol. 15, No 12, pp. 1105-1116, 2004.

[22] Haas Zygmunt J., Pearlman Marc R. and Samar Prince, The zone routing protocol (ZRP) for ad hoc networks, draft-ietf-manet-zone-zrp-04. txt, 2002.

[23] Yasinac Alec and Carter Stephen, Secure Position Aided Ad hoc Routing, Florida State University, 2002.

[24] Karp Brad and Kung Hsiang-Tsung, GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks, Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, ACM, pp. 243-254, 2000.

[25] Ko Young-Bae and Vaidya Nitin-H, Location-Aided Routing (LAR) in mobile ad hoc networks, Wireless Networks Vol. 6, No 4, pp. 307-321, 2000.

- [26] Basagani Stefano, Chlamtac Imrich, Syrotiuk Violet R. and Woodward B. A., A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM), Proceedings of the 4th annual ACM/IEEE international conference on Mobile computing and networking, ACM, pp. 76-84, 1998.
- [27] Johnson David, Hu Y. and Maltz D., The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPv4, No. RFC 4728, 2007.
- [28] Fiore Marco, Harri Jerome, Filali Fethi and Bonnet C., Vehicular mobility simulation for VANETs, Simulation Symposium, ANSS'07, 40th Annual, IEEE, pp. 301-309, 2007.
- [29] Fiore Marco, Harri Jerome, Filali Fethi and Bonnet C., Vehicular mobility simulation for VANETs, Simulation Symposium, ANSS'07, 40th Annual, IEEE, pp. 26-28, 2007.
- [30] Farooq Janhanzeb and Rauf Bilal, Implementation and Evaluation of IEEE 802.11e Wireless LAN in GlomoSim, Master Thesis, Department of Computing Science Umea University Sweden, 2006.
- [31] The Network Simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (consulté en Mars 2015)
- [32] VanetMobiSim, <http://vanet.eurecom.fr/> (consulté en Mars 2015)
- [33] CANU Mobility Simulation Environment, <http://canu.informatik.uni-stuttgart.de/mobisim/> (consulté en Mai 2015)
- [34] QualNet Simplement innovant, <http://www.qualnet.fr/> (consulté en Mai 2015)
- [35] VANET/ITS Website (NEO), <http://neo.lcc.uma.es/staff/jamal/vanet/?q=node/9> (consulté en Mai 2015)
- [36] OpenStreetMap France, <http://openstreetmap.fr/> (consulté en Mai 2015)
- [37] VirtualBox, https://www.virtualbox.org/wiki/Download_Old_Builds_4_2 (consulté en Mars 2015)
- [38] Ubuntu, <http://releases.ubuntu.com/12.04/> (consulté en Mai 2015)
- [39] VanetMobiSim, <http://sourceforge.net/projects/vanetmobisim/> (consulté en Mars 2015)

Annexe A: How to install the simulation's tool

Dans cette section, un guide d'installation des différents outils de simulation est présenté et une étude d'étape par étape de la procédure de simulation est décrite afin d'illustrer comment utiliser tous nos outils correctement.

1) Comment installer VirtualBox

En premier lieu, il vous faut récupérer la version (4.2.18) de VirtualBox pour Windows à partir de [37], poursuivre les étapes d'installation en cliquant toujours sur NEXT.

2) Comment installer Ubuntu

Vous devez télécharger le logiciel de [38]. N'oubliez pas que la version utilisée dans ce travail est Ubuntu 12.04. Si vous voulez installer Ubuntu dans une partition gratuite de votre système de disque dur il vous suffit d'insérer le CD Live et redémarrez votre ordinateur. Si vous voulez installer Ubuntu sur une machine virtuelle virtualbox comme notre cas, vous devez suivre les étapes suivantes :

- 1) exécuter VirtualBox
- 2) sélectionnez "Créer une nouvelle Machine virtuelle"
- 3) cliquez sur configuration et sélectionner Stockage, puis le CD vide. Ensuite charger le fichier iso d'installation d'Ubuntu.
- 4) Démarrer la machine virtuelle. OK à tous les messages. Cliquer sur Installer Ubuntu.

3) Comment installer NS2.35

L'étape suivante montre l'installation de Ns2.35 sur ubuntu 12.04

- Télécharger NS-2.35 à partir de [30]
- Puis installer les bibliothèques NS2 requis à l'aide de la commande "sudo apt-get install build-essential autoconf automake libxmu-dev" (sans les guillemets)
- Décompressez le fichier téléchargé de ns-allinone-xxx.tar.gz à l'aide de la commande « tar zxvf ns-allinone-2.35.tar.gz »
- Exécuter les commandes, un par un, comme indiqué ci-dessous :

CD ns-allinone-2.35

`./install`

- Tapez `ns` et voir qu'un symbole "%" indique que l'installation de ns2 est réussie et aussi essayer la commande `nam` afin qu'un animateur de réseau sera ouvert.

4) Comment installer VanetMobiSim 2.0 sous windows

Télécharger le fichier depuis [39] puis lancer le fichier `VanetMobiSim.exe`.

Annexe B: How to run VanetMobiSim and NS2

Dans ce qui suit, un processus de toutes simulation de VanetMobiSim jusqu'au fichier AWK.

a. VanetMobiSim

Dans cette première section, un scénario doit être défini dans un fichier XML. Le scénario proposé définit 100 nœuds, une simulation de la zone de 1000 x 1000 mètres, un temps de simulation de 100 secondes et un modèle « Random spatial model ».

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="no"?>
<universe>
<dimx>1000.0</dimx>
<dimy>1000.0</dimy>
<seed>7</seed>
<extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.simulations.TimeSimulation" param="100"/>
<extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.spatialmodel.core.SpatialModel" max_x="1000" max_y="1000" min_x="0" min_y="0">
<dump_boundary_points>>false</dump_boundary_points>
<separated_flow>>false</separated_flow>
<max_traffic_lights>0</max_traffic_lights>
</extension>
<extension class="de.uka.informatik.XMLReader" source="C:\Users\Yasmine\Desktop\Nouveau dossier\Map"/>
<extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.tripmodel.generators.RandomTripGenerator" name="tripGen" path_algorithm="de.uni_stuttgart.informatik.ca
<reflect_directions>>true</reflect_directions>
<minstay>2</minstay>
<maxstay>6</maxstay>
</extension>
<extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.tripmodel.generators.RandomInitialPositionGenerator" name="initialPosGen"/>
<nodegroup id="" n="100" type="car">
<extension class="polito.uomm.IDM_LC" initposgenerator="initialPosGen" tripgenerator="tripGen">
<ignoreBorders>>true</ignoreBorders>
<GLOSA>>false</GLOSA>
<minGlosaSpeed>5.55</minGlosaSpeed>
<minGlosaDistance>5.0</minGlosaDistance>
<visibility>200.0</visibility>
<minspeed>2.77</minspeed>
<maxspeed>6.94</maxspeed>
<step>1</step>
<l>5</l>
<a>0.6</a>
<b>0.9</b>
<t>0.5</t>
</extension>
</nodegroup>
<extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.extensions.NSOutput" output="C:\Users\Yasmine\Desktop\Nouveau dossier\speed70_IM1"/>
</universe>

```

Figure B. 1 : Partie du fichier XML de VanetMobiSim.

Tous les champs et les spécifications sont décrits ci-dessous :

a.1 Spécifications générales

Les paramètres : dimensions de la zone, seed, temps de simulation et la sortie de fichier de traces sont incluses dans cette section. Avec les balises <dimx>et <dimy> la dimension x et la y-dimension de la zone de simulation en mètres sont spécifiés. Avec la balise <seed>la génération de nombres aléatoires utilisée par VanetMobiSim peut être spécifiée.

Une instance globale d'extension est ajoutée à l'aide de la balise <extension>. Avec une instance de la classe «de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.extensions.NSOutput » un fichier de sortie de mobilité pour le NS2 peut être défini. Le temps de simulation peut être également être défini avec une instance de la classe «de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.simulations.TimeSimulation».

- **Spatial environment**

Un environnement spatial est ajouté avec une instance de «de.uni_stuttgart.informatik.canu.spatialmodel.core.SpatialModel». L'extension de l'environnement spatial prend en charge des voies multiples et feux de circulation aux intersections.

- **Initial position and trip generator**

Une génération aléatoire de la position initiale de nœuds et leur modèle de déplacement pendant la simulation peut être définie avec une instance d'extensions «de.uni.stuttgart_informatik.canu.tripmodel.generators.RandomInitialPositionGenerator » et «de.uni_stuttgart.informatik.canu.tripmodel.generators.RandomTripGeneratorrespectivement ».

- **Node Definition**

Plusieurs nœuds sont ajoutés à la simulation en utilisant la balise <nodegroup>. Pour simuler un mouvement du nœud basant sur le modèle IDM_{LC}, une instance de l'extension « politico.uomm.IDM_{LC} » est utilisée. Les véhicules qui se déplacent selon le modèle IDM_{LC} soutiennent une gestion intelligente d'intersection : ralentir et arrêter à une intersection ou agir selon des feux de circulation. Aussi, les véhicules sont en mesure de changer de voie et d'effectuer des dépassements.

Bien que dans le scénario proposé ne comprennent que quelques caractéristiques comme la vitesse maximum et minimum, Guide de l'utilisateur VanetMobiSim [35] comprend une longue liste de caractéristiques.

Lorsque la simulation est terminée, un fichier nommé speed70_IM1 a été créé. Il contient les traces de la mobilité pour NS2 simulation.

b. NS2

Dans cette deuxième section une configuration réseau et de communication doit être décrites. Comme mentionné précédemment, le fichier ou le script doit être défini à l'aide de Tcl, langage de programmation. La proposition est la suivante :

```
# =====
#           DEFINE OPTIONS
# =====

set val(chan)           Channel/WirelessChannel           ;# channel type
set val(prop)           Propagation/Nakagami              ;# radio-propagation model
set val(netif)          Phy/WirelessPhyExt               ;# network interface type
set val(mac)            Mac/802_11Ext                   ;# MAC type
set val(ifq)            Queue/DropTail/PriQueue          ;# interface queue type
set val(ll)            LL                               ;# link layer type
set val(ant)            Antenna/OmniAntenna             ;# antenna model
set val(x)              2058                            ;# X dimension of the topography
set val(y)              1273                            ;# Y dimension of the topography
set val(ifqlen)         50                              ;# max packet in ifq
set val(adhocRouting)   AODV                           ;# ad-hoc routing protocol (DSR/AODV)
set val(nn)             100                             ;# number of mobile nodes
set val(cp)             "cbrogen10"                    ;# connection pattern file path
set val(sc)             "speed70_IM1"                  ;# scenario file path
set val(stop)          100.0                           ;# simulation time
```

Figure B. 2 : Les options définies dans le script NS2.

Le script Tcl est divisé en deux sections : définir les OPTIONS et le programme principal. Spécifications générales de simulation telle que le temps, zone de simulation et le nombre de nœuds ainsi que des fonctionnalités réseau et de canal. En outre le chemin d'accès du fichier scénario généré par VanetMobiSim et le fichier de trafic sont ajoutés aussi dans cette section.


```

# =====
#                               MAIN PROGRAM
# =====
# create simulator instance
set ns_ [new Simulator]
# setup topography object
set topo [new Topography]
$topo load_flatgrid $val(x) $val(y)           ;# provide the topography object with x and y
# create trace object for ns
set tracefd [open $opt(traces) w]
$ns_ trace-all $tracefd                    ;# write all event in the out.tr file
# create GOD (General Operations Director)
set god_ [create-god $val(nn)]
# global node settings
$ns_ node-config \
-mobileIP                OFF \
-adhocRouting             $val(adhocRouting) \
-llType                   $val(ll) \
-macType                  $val(mac) \
-ifqType                  $val(ifq) \
-ifqLen                   $val(ifqlen) \
-antType                  $val(ant) \
-channelType              $val(chan) \
-propType                 $val(prop) \
-phyType                  $val(netif) \
-topoInstance             $topo \
-agentTrace               ON \
-routerTrace              ON \
-macTrace                 OFF \
-movementTrace            OFF \
# create the nodes and "attach" them to the channel
for { set i 0 } { $i < $val(nn) } { incr i } {
    set node_($i) [$ns_ node]
    $node ($i) random-motion 0                ;# disable random motion

# define node mobility and traffic model

puts "Loading scenario file..."
source $val(sc)
puts "Loading connection pattern..."
source $val(cp)
# define node size in nam
for { set i 0 } { $i < $val(nn) } { incr i } {
    $ns_ initial_node_pos $node_($i) 40
}
# tell the nodes when the simulation ends
for { set i 0 } { $i < $val(nn) } { incr i } {
    $ns_ at $val(stop).0 "$node_($i) reset"
}
puts $tracefd "M 0.0 nn $val(nn) x $val(x) y $val(y) rp $val(adhocRouting)"
puts $tracefd "M 0.0 sc $val(sc)"
puts $tracefd "M 0.0 prop $val(prop) ant $val(ant)"

# fin simulation
$ns_ at $val(stop).0002 "stop"
$ns_ at $val(stop).0002 "puts \"end simulation\"; $ns_ halt"
proc stop { } {
    global ns_ tracefd namtrace
    $ns_ flush-trace
    close $tracefd
    exit
}
$ns_ run

```

Figure B. 3 : Le programme principal du script NS2.

Le programme principal inclut la création de l'instance de simulateur et objets de trace, les paramètres de nœuds, les fichiers de mobilité et de trafic.

La performance est la suivante : après 100 secondes de simulation, NS2 arrête la communication et ferme le fichier out.tr, qui enregistre tous les événements de routage pendant la simulation. Lorsque la simulation est terminée, le fichier de sortie out.tr sera créé.

Enfin on applique le AWK sur le fichier de trace généré par le NS2 pour ploter les résultats.

Liste des figures

FIGURE I. 1 : UN EXEMPLE DES RESEAUX VANET [3].....	5
FIGURE I. 2 : LES ELEMENTS CONSTITUANT LE VEHICULE INTELLIGENT [4].....	6
FIGURE I. 3 : LES MODES DE COMMUNICATION DANS LES VANET [8].....	7
FIGURE II. 1 : MECANISME DE ROUTAGE AODV.....	17
FIGURE II. 2 : PROTOCOL DE ROUTAGE DANS LE RESEAU VANET.....	19
FIGURE III. 1 : FLOT DE SIMULATION AVEC NS2.....	24
FIGURE III. 2 : EXEMPLE D'UNE LIGNE DE FICHIER TRACE ANCIEN FORMAT.....	24
FIGURE III. 3 : SIMULATEUR DE VANET BASEE SUR LE COUPLAGE DE VANETMOBISIM ET NS2 [37].....	25
FIGURE III. 4 : LA ZONE D'ETUDE AVANT IMPORTATION.....	26
FIGURE III. 5 : LA ZONE D'ETUDE APRES IMPORTATION.....	26
FIGURE III. 6 : EXPORTATION DE LA CARTE ROUTIERE EN FICHIER XML.....	27
FIGURE III. 7 : AJOUT DU MODULE XMLREADER.....	27
FIGURE III. 8 : AJOUT DE MODULE MOBILITY MODEL.....	28
FIGURE III. 9 : LA COMMANDE NECESSAIRE POUR GENERER LE FICHIER DE TRAFIC.....	28
FIGURE III. 10 : LANCEMENT DE L'EXECUTION DU SCRIPT TCL.....	28
FIGURE III. 11 : LA COMMANDE AWK.....	29
FIGURE III. 12 : LE TAUX DE PAQUET DELIVRE VS DENSITE DE VEHICULES.....	31
FIGURE III. 13 : DELAI MOYEN DE BOUT EN BOUT VS DENSITE DE VEHICULES.....	33
FIGURE III. 14 : TAUX DE PERTE VS DENSITE DE VEHICULES.....	34
FIGURE III. 15 : TAUX DE PAQUETS DELIVRES VS VITESSE.....	35
FIGURE III. 16 : DELAI MOYEN DE BOUT EN BOUT VS VITESSE.....	36
FIGURE III. 17 : TAUX DE PERTE VS VITESSE.....	37
FIGURE B. 1 : PARTIE DU FICHIER XML DE VANETMOBISIM.....	47
FIGURE B. 2 : LES OPTIONS DEFINIES DANS LE SCRIPT NS2.....	49
FIGURE B. 3 : LE PROGRAMME PRINCIPAL DU SCRIPT NS2.....	50

Liste des tableaux

TABLE III. 1 : PARAMETRES DE SIMULATION.	30
TABLE III. 2 : PARAMETRE DE MODELE MOBILITE.	30
TABLE III. 3 : PERFORMANCE DES MODELES DE MOBILITE POUR SCENARIO1.....	38
TABLE III. 4 : PERFORMANCE DES MODELES DE MOBILITE POUR SCENARIO2.....	39

Liste des abréviations

A	
AODV	
Ad hoc On-Demand Vector routing	3
C	
CanuMobiSim	
Communication in Ad Hoc Networks for Ubiquitous Computing	25
CBR	
Constant Bit Rate	30
D	
DREAM	
A distance routing effect algorithm for mobility	16
DSDV	
Destination Sequenced Distance Vector Routing	3
DSR	
Dynamic Source Routing	3
DSRC	
Dedicated Short Range Communication	9
F	
FCC	
Federal Communications Commission	9
G	
GDF	
Geographic Data File	25
GloMoSim	
Global Mobile Information System Simulator	25
GPSR	
Greedy Perimeter Stateless Routing	16
I	
IDM	
Intelligent Driver Model	3
IDM-IM	
Intelligent Driver Model with Intersection Management	3
IDM-LC	
Intelligent Driver Model with Lane Change	3
IEEE	
Institute of Electrical and Electronics Engineers	9
ITS	
Intelligent Transportation Systems	1
ITSA	
Intelligent Transportation Society of America	9
L	
LAR	
Location-aided routing	16
M	
MAC	
Media access control	9
MANET	
Mobile Ad hoc Networks	3
N	
NAM	
Network Animator	24
NS2	
Network Simulator 2	2
O	
OLSR	
Optimized Link State Routing	16
OSM	
OpenStreetMap	25
OTcl	
Object Tools Command Language	23
P	
PDR	
Packet Delivery Ratio	41
PHY	
Physical layer	9
R	
RERR	
Route Error	17
RREP	
Routing Reply	16
RREQ	
Route Request	16
RSU	

Liste des abréviations

Road Side Units.....	7	Vehicle to Infrastructure	5
S		V2V	
SN		Vehicle to Vehicle.....	5
Sequence Number	18	VANET	
T		Vehicular Ad hoc Networks	3
TGP		W	
Task Group p.....	9	WAVE	
TIGER		Wireless Access in Vehicular Environment	9
Topologically Integrated Geographic		WIFI	
Encoding and Referencing	25	Wireless Fidelity.....	8
TORA		Z	
Temporally Ordered Routing Algorithm	16	ZRP	
V		Zone Routing Protocol.....	16
V2I			