

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

Université Abderrahmane Mira de Bejaia



Faculté des Sciences Exactes
Département d'informatique

Mémoire De Fin De Cycle
En vue de l'obtention d'un diplôme de Master en informatique
Option : Administration et Sécurité des Réseaux (A.S.R)

Analyse des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires ad hoc

Réalisé Par :
Boubegtiten Hanane
Abbas Meriem

Soutenu devant le jury composé de :

Présidente	Dr Ait Abdelouhab Karima	MCB	Université de Béjaïa
Examinatrice	Dr Ouyahia Samira	MCB	Université de Béjaïa
Promotrice	Dr Lahlah Souaad	MCB	Université de Béjaïa

Année universitaire : 2022-2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord ALLAH tout-puissant de Nous avoir armés de force et nous guider pour élaborer ce modeste travail. Nous adressons nos remerciements à notre encadrante « LAHLAH Souaad » pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de guider ce mémoire avec ses conseils et son aide précieux. On tient à adresser notre profonde gratitude à toutes les personnes qui nous ont aidés et encouragés. Nous remercions les membres du jury d'accepter d'examiner ce modeste travail. Et en fin notre plus profonde et sincères remerciements à nos parents qui nous ont toujours soutenues, encouragés et aidés, ils ont su nous donner toutes les chances pour réussir.

Dédicaces

Nous dédions ce mémoire à : Nos chers parents, pour leurs patiences, leurs amours, leurs soutiens et leurs encouragements. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs précieuses, l'éducation et le soutien permanents venus de vous. À mes chers frères « Ahmed, Fares et mon petit « Anis », à ma petite sœur Anaïs, à mes grands-parents, mes tantes, mes oncles, à mes cousins (es) et mes amis.

ABBAS Meriem

Nous dédions ce mémoire à : Nos chers parents, pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs précieuses, l'éducation et le soutien permanents venus de vous. À mes chers frères « Farid et Rayan », mes grandes sœur « Lynda et Fairouz », à mes grands-parents, mes nièces, neveux et mes amis

BOUBEGTITEN Hanane

Table des matières

Table des matières	1
Liste des figures	3
Liste des abréviations	4
Introduction générale	5
1 Vue d'ensemble des réseaux véhiculaires	7
1.1 Introduction	8
1.2 Définitions	8
1.2.1 Réseaux sans fils.....	8
1.2.2 Réseaux Ad Hoc	9
1.2.3 Réseaux MANets	9
1.3 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc	10
1.4 Réseaux ad hoc véhiculaire VANets	11
1.4.1 Définition des VANets	11
1.4.2 Caractéristiques des réseaux VANets	12
1.4.3 Composants	13
1.4.4 Modes de communication pour les réseaux VANets.....	14
1.4.5 Technologies utilisées dans la communication véhiculaire.....	15
1.4.6 Domaines d'applications des VANets	16
1.4.7 Défis dans les VANets	16
1.5 Conclusion.....	18
2 Protocoles de routage dans les VANets	19
2.1 Introduction	20
2.2 Définitions	20
2.2.1 Routage	20
2.2.2 Protocole	20
2.2.3 Protocole de routage	20
2.3 Routage dans les VANets	21
2.4 Problème de routage dans VANets.....	21
2.5 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANets	22
2.5.1 Basé sur la topologie.....	22
2.5.2 Basé sur le clustering	23
2.5.3 Géocast	24

2.5.4	Broadcast	25
2.5.5	Basé sur la position.....	25
2.6	Conclusion.....	28
3	Évaluation et implémentation du protocole de routage VADD	29
3.1	Introduction	30
3.2	Principe de fonctionnement du protocole VADD	30
3.2.1	Mode de transmission des paquets pour VADD.....	30
3.2.2	Mécanisme de transmission des paquets pour VADD.....	31
3.2.3	Modèle de propagation utilisé par VADD.....	33
3.3	Avantages	33
3.4	Limitations.....	34
3.5	Simulation de la communication réseaux.....	34
3.5.1	Simulateur NS2.....	34
3.5.2	Simulateur OMNET++	35
3.5.3	Choix de simulateur OMNET++	35
3.6	Simulation de la mobilité.....	36
3.6.1	Sumo (Simulation of Urban MObility).....	36
3.6.2	Génération de la carte routière (SUMO).....	36
3.7	Implémentation.....	39
3.7.1	Environnement matériel.....	40
3.7.2	Environnement logiciel.....	40
3.7.3	Veins (Vehicles in Network Simulator).....	40
3.7.4	INET Framework.....	41
3.8	Métriques d'évaluation.....	42
3.9	Conclusion.....	44
	Conclusion générale et perspectives	45
	Bibliographie	46

Liste des figures

1.1	Réseaux avec et sans infrastructure [4].	9
1.2	Un réseau mobile ad hoc [2].	10
1.3	Hierarchie des réseaux sans fil [10].	11
1.4	Exemple de réseaux VANets [11].	12
1.5	Le dispositif RSU (Road Side Unit) [13].	13
1.6	Le dispositif OBU (On Board Unit) [13].	14
2.1	Classification des protocoles de routage dans les VANets [17].	22
2.2	Méthode de construction d'une route [18]	23
2.3	Greedy Routing [31].	26
2.4	Face Routing [31]	26
3.1	Modes de transmission dans VADD [34]	31
3.2	Exemple de transmission de paquets en utilisant le mécanisme LVADD [34]	32
3.3	Scénario de boucle de routage [34]	32
3.4	Interface d'OMNET++.	35
3.5	Code de création des nœuds	37
3.6	Code de création des arcs	37
3.7	Code de création des types d'arc	37
3.8	Code généré sur net file	38
3.9	Les fichiers de création d'un réseau sur sumo.	38
3.10	Les fichiers de création des véhicules et des routes	38
3.11	Code de création de la carte sumo	39
3.12	Le résultat de la simulation sur sumo.	39
3.13	Configuration de l'ordinateur de simulation.	40
3.14	Outils de simulation [39].	41

Liste des abréviations

AODV	Ad hoc On-Demand Vector routing
CA	Central Authority
CBLR	Cluster Based Location Routing
CBDRP	Cluster-Based Directional Routing Protocol
DSDV	Destination-Sequenced Distance Vector
DVCAST	Distributed vehicular broadcast protocol
IVG	Distributed vehicular broadcast protocol
INET	Internet Network Simulation Framework
GPS	Global Positioning System
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
GRP	Geocasting Routing Protocol
GSR	Geographic Source Routing
GyTAR	Geographic-based Traffic-aware Routing
MANETS	Mobile Ad hoc Networks
NS2	Network Simulator 2
OBUs	On-Board Units
OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++
RSUs	Road Side Units
SUMO	Simulation of Urban MObility
UMB	Urban Multihop Broadcast Protocol
V2I	Vehicle to Infrastructure
V2V	Vehicle to Vehicle
VADD	Vector-based Ad-hoc Distance-Determining algorithm
VANETs	Vehicular Ad hoc Networks
VEINS	Vehicles in Network Simulator
ZRP	Zone Routing Protocol

Introduction générale

L'organisation mondiale de la santé a déclaré que : « Chaque année, environ 1,3 million de personnes perdent la vie dans un accident de la route. On recense en plus de 50 millions de blessés, nombre d'entre eux gardant une invalidité à la suite de leurs blessures. Les accidents de la route entraînent des pertes économiques considérables pour les victimes, leur famille et les pays dans leur ensemble » [1].

Dans le contexte actuel, l'amélioration de la sécurité routière est devenue une priorité pour faire face à cette situation. C'est pourquoi de nombreuses recherches ont été entreprises, non seulement dans le but de réduire le nombre de décès sur les routes et d'améliorer les conditions de circulation, mais également pour atténuer les problèmes d'embouteillages et de pollution. Les réseaux véhiculaires mobiles, communément appelés Vehicular Ad-hoc NETWORKS (VANets), sont considérés parmi les technologies récentes de communication sans fil qui ont été développés dans cet esprit pour atteindre ces objectifs.

Les réseaux de véhicules ad hoc (VANets) sont un domaine de recherche émergent qui promet de révolutionner les communications et la sécurité routière. Grâce à la convergence des technologies de communication sans fil et des véhicules intelligents, les véhicules communiquent entre eux et avec l'infrastructure routière environnante pour échanger des informations critiques en temps réel. Ces informations peuvent inclure des avertissements de danger, des mises à jour sur les conditions routières, des informations de trafic et bien plus encore.

Afin de permettre la transmission d'informations d'un véhicule à un autre au sein d'un réseau composé de nombreux véhicules, il est essentiel de mettre en place un routage rapide et efficace des données.

Le routage consiste à déterminer le chemin optimal pour acheminer les informations vers leur destination. Il s'agit de garantir en permanence l'établissement de routes correctes et efficaces entre n'importe quelle paire de nœuds du réseau. En effet, le routage est un élément essentiel dans un réseau VANets, il constitue un défi majeur en raison de la forte mobilité des véhicules, ce qui engendre une topologie très dynamique.

Les protocoles de routage dans les VANets jouent un rôle essentiel en assurant un acheminement efficace des informations entre les véhicules. Cependant, et pour exploiter pleinement le potentiel des VANets, il est nécessaire de continuer à améliorer ces protocoles pour garantir une transmission rapide et fiable des données d'un véhicule à un autre, en prenant en compte les spécificités des environnements de VANets, tels que la mobilité élevée et la topologie dynamique.

Dans ce contexte, ce mémoire se concentre sur l'analyse des protocoles de routage existants dans les VANets, avec une attention particulière portée sur le protocole VADD. L'objectif principal de ce travail de recherche est d'identifier les lacunes et les points faibles du protocole VADD en termes de routage, afin de proposer des améliorations et des solutions novatrices.

Notre mémoire est composé de trois chapitres :

Dans le premier chapitre, nous abordons les concepts fondamentaux liés aux réseaux véhiculaires mobiles (VANets). Nous commençons par explorer les technologies sans fil qui jouent un rôle essentiel dans la communication des véhicules. Ensuite, nous nous intéressons aux réseaux ad hoc, qui sont des réseaux autonomes et auto-organisés, et nous examinons plus particulièrement les réseaux mobiles ad hoc (MANets), qui sont des réseaux ad hoc composés de nœuds mobiles. Nous nous concentrons ensuite sur les réseaux ad hoc véhiculaires (VANets).

Dans le deuxième chapitre, nous présentons le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Nous nous intéressons à la problématique du routage puis enfin, Nous décrivons les principaux protocoles et leurs classifications.

Dans le troisième chapitre, nous allons présenter le fonctionnement et la mise en œuvre du protocole VADD (Vector-based Ad-hoc Distance-Determining algorithm).

Chapitre 1

Vue d'ensemble des réseaux véhiculaires

1.1 Introduction

Depuis leur émergence, les réseaux ont connu une évolution croissante en termes de vitesse et de performances. Cette progression a débuté avec les réseaux filaires, qui étaient encombrants et rigides. Par la suite, l'adoption des technologies sans fil a permis aux réseaux de gagner en liberté, offrant ainsi plus de flexibilité, de rapidité et de réduction des coûts. Ensuite, les réseaux informatiques ont évolué vers l'ère de la mobilité, grâce à l'apparition de nouvelles technologies qui permettent aux unités du réseau de se déplacer librement tout en restant connectées entre elles. Avec la prolifération des appareils légers tels que les ordinateurs portables et les téléphones mobiles, la communication par le biais de réseaux mobiles est devenue plus efficace et accessible. Ces réseaux mobiles ont trouvé une multitude d'applications, notamment dans la téléphonie, le partage rapide de données et la sécurité routière. Au cours de ce chapitre, nous fournirons des notions générales sur les réseaux sans fil, les réseaux Ad hoc, les réseaux mobiles Ad Hoc (MANets). Ainsi nous détaillerons les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANets) qui sont un cas particulier des réseaux MANets.

1.2 Définitions

1.2.1 Réseaux sans fils

Un réseau sans fil (en anglais Wireless network) est Un réseau informatique numérique qui interconnecte différentes stations ou systèmes via des ondes radios, il est associé à un réseau de télécommunication pour réaliser des interconnexions entre nœuds [2].

La norme la plus couramment utilisée pour les réseaux sans fil aujourd'hui est la norme IEEE802.11. Grâce aux réseaux sans fil, un utilisateur a la possibilité de rester connecté tout en se déplaçant dans un périmètre géographique plus ou moins étendu, c'est la raison pour laquelle on entend parfois parler de "mobilité" [2].

Les environnements de la mobilité sont des systèmes composés de sites mobiles et qui permettent à leurs utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure :

- **Réseau avec infrastructure**

En mode infrastructure, les nœuds mobiles communiquent avec les nœuds fixes appelés points d'accès (AP Access Point) uniquement via des liaisons sans fil. L'ensemble des points d'accès et des unités mobiles est appelé Basic Service Set (en anglais Basic Service Set, noté BSS) [3].

- **Réseau sans infrastructure** Dans ce mode, les nœuds qui le composent sont connectés directement les uns aux autres, sans avoir besoin d'une infrastructure centrale, telle qu'un routeur ou une base de données. Chaque station, joue le rôle de client et le rôle de point d'accès en même temps pour construire un réseau point

à point (Peer to Peer). Les réseaux sans infrastructure offrent une plus grande flexibilité et une plus grande tolérance aux pannes, mais peuvent être plus complexes à gérer en raison de la nature décentralisée de leur fonctionnement [3].

La figure 1.1 montre deux ordinateurs qui se connectent entre eux directement et deux autres ordinateurs en mode infrastructure, qui se connectent aux bornes pour accéder au réseau.

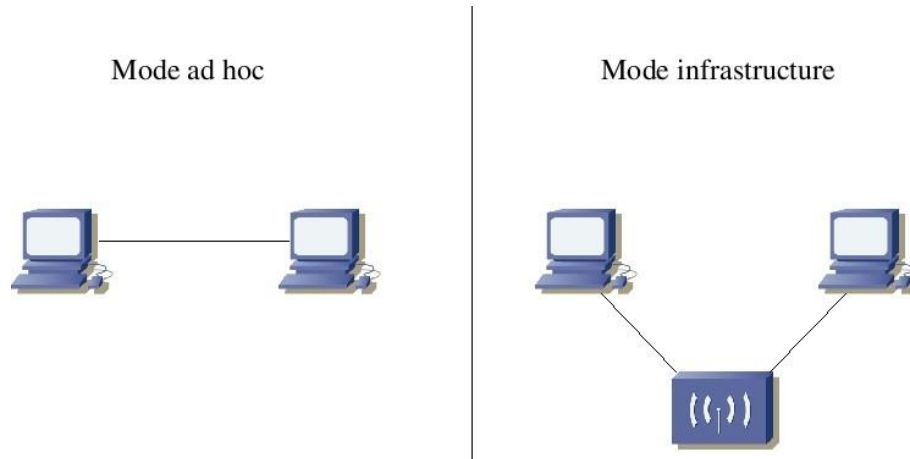


Figure 1.1 – Réseaux avec et sans infrastructure [4].

1.2.2 Réseaux Ad Hoc

Un réseau ad hoc [5] est un type de réseau sans fil dans lequel l'ensemble des hôtes se connectent entre eux directement, on suivant une organisation totalement décentralisée, afin de transmettre les données d'une manière dynamique et autonome sans aucune infrastructure filaire.

Ces hôtes peuvent être mobiles ou fixes, dans la plupart des cas on met en évidence la notion de mobilité. Un tel réseau étant avant tout un réseau sans fil, ses objets sont connectés entre eux par le biais d'une interface radio.

Les réseaux Ad Hoc peuvent également être utilisés pour connecter des dispositifs sans fil tels que des ordinateurs portables, des smartphones et des tablettes, et peuvent être mis en place rapidement et facilement sans configuration complexe.

1.2.3 Réseaux MANets

Un réseau mobile ad hoc, appelé généralement MANets (Mobile Ad hoc Networks), consiste en une grande population, relativement dense, d'unités mobiles qui se déplacent dans un territoire quelconque et dont le seul moyen de communication est l'utilisation des interfaces sans fil, sans l'aide d'une infrastructure préexistante ou administration centralisée (Figure 1.2) [2].

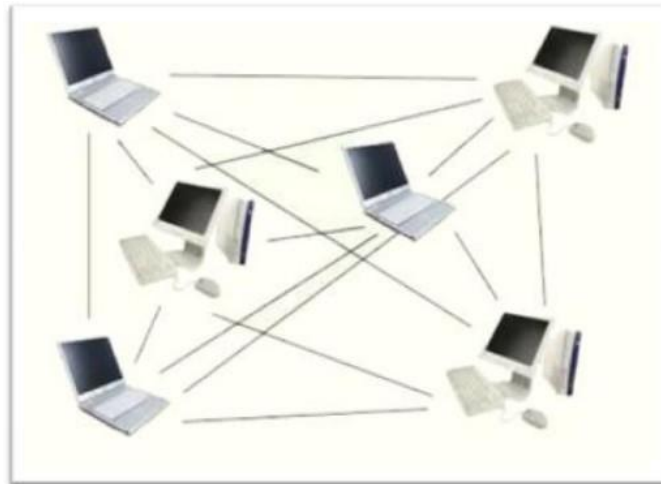


Figure 1.2 – Un réseau mobile ad hoc [2].

1.3 Caractéristiques des réseaux Ad Hoc

Les réseaux Ad Hoc présentent plusieurs caractéristiques :

- **Absence d'infrastructure**
Les nœuds d'un réseau Ad Hoc travaillent dans un environnement pair à pair totalement distribué, ce qui leur permet de se déplacer librement. Ces nœuds agissent en tant que routeurs pour relayer des communications ou générer leurs propres données [6].
- **Routing 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 » [7].
- **Topologie dynamique** : la mobilité, l'apparition et la disparition des nœuds, la présence d'obstacles (arbres, bâtiments, etc.), les conditions environnementales (pluie, neige, etc.) et les interférences des ondes, sont tous des facteurs qui affectent la qualité de propagation des ondes émises et se manifestent comme des changements de topologie [8].
- **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 [9].

1.4 Réseaux ad hoc véhiculaire VANets

1.4.1 Définition des VANets

VANets est l'abréviation de (Vehicular Adhoc network) ou (Réseaux Adhoc véhiculaire), c'est un cas particulier d'un réseau MANet (Figure 1.2) qui permet la communication entre véhicules intelligents qui sont les nœud mobiles équipés de calculateurs, radars, de périphériques réseau et de capteurs. Les VANETS, sont différents des autres réseaux Adhoc en raison de la mobilité élevée des nœuds, de la densité variable et de l'environnement de communication imprévisible. Ils sont considérés comme un élément essentiel des systèmes de transport intelligent pour assurer la sécurité de la circulation routière en permettant des communications intervéhiculaires (V2V) et véhicules à infrastructure (V2I) [10] pour l'échange de toutes alertes ou informations utiles, le confort de conduite et la diffusion des mises à jour routières, mais aussi des données (vidéo, musique, etc.) pour rendre le temps passer sur la route plus agréable et moins ennuyeux [10].



Figure 1.3 – Hiérarchie des réseaux sans fil [10].

Un exemple de réseaux VANets est illustré dans la Figure 1.4.

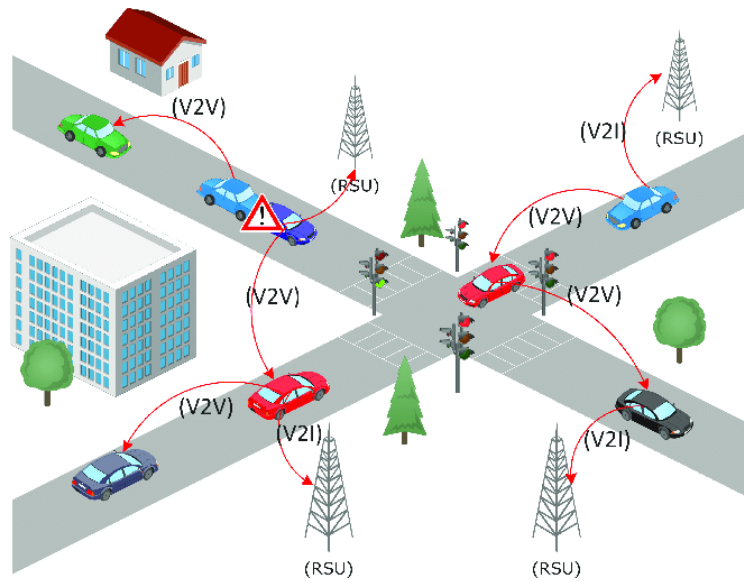


Figure 1.4 – Exemple de réseaux VANets [11].

1.4.2 Caractéristiques des réseaux VANets

Les réseaux véhiculaires se distinguent avec certaines caractéristiques par rapport aux réseaux ad hoc mobiles et qui retiennent une grande attention, à savoir :

- **Capacité d'énergie et stockage**

L'une des particularités du réseau VANets est sa grande capacité énergétique, Grâce au système d'alimentation véhiculaire qui se renouvelle dans le temps, les équipements de ce réseau ont suffisamment d'énergie pour alimenter divers composants électroniques des voitures intelligentes. Ce qui n'est pas le cas des autres types d'appareils des réseaux sans fil, ce qui soulève une grande inquiétude par rapport aux limites de leurs batteries.

- **Connectivité intermittente**

Une conséquence directe de la forte mobilité et des obstacles de l'environnement est une connectivité intermittente. Un lien établi entre deux entités du réseau peut rapidement disparaître en raison soit de la mobilité qui éloigne les deux entités communicantes, soit des obstacles qui empêchent la propagation du signal [12].

- **Modèle de mobilité**

Les véhiculent se déplacent rapidement, entraînant une forte variation de la topologie du réseau. Les nœuds du réseau (les véhicules) peuvent entrer et sortir du réseau à tout moment, ainsi un réseau dynamique.

- **Utilisation de la bande de fréquence**

Les réseaux VANets utilisent généralement des bandes des fréquence dédiées pour éviter les interférences avec les autres réseaux sans fil.

- **Topologie du réseau**

Un véhicule peut rapidement rejoindre ou quitter un groupe de véhicules, ce qui rend les changements de topologie très fréquents et très dynamiques, constitués de plusieurs groupes séparés, ceci entraîne une réorganisation de la topologie du réseau.

1.4.3 Composants

Le réseau VANets se compose principalement de trois entités :

- **CA (central authority)**

Elle joue le rôle de l'administrateur dans les VANets et gère l'authentification des nœuds du réseau, y compris (OBU et SRU). Tout nœuds à besoin de s'enregistrer auprès de la CA pour rejoindre le VANet. La CA dans certains travaux se charge de la délivrance et l'attribution des certificats et des pseudonymes de communication. En cas de compromission ou de révocation, la CA ajoute l'identification de certificats à une liste de révocation de certificats (LRC) ou (Certificate Revocation lists CRL). Ensuite, la CA diffuse cette liste a tous les véhicules en utilisant les RSUs pour ne pas approuver le certificat révoqué.

- **RSUs (Road Side Units)**

Infrastructure installée au bord de la route elle peut être sous différente sorte comme des lempadains, des feux de signalisation ou autres (Figure 1.5). Sa principale responsabilité est la diffusion des messages aux véhicules qui se trouve dans ces zones radio, Étendre la couverture du réseau Ad Hoc pour permettre l'échange d'informations avec les OBUs communicants, et Aider les OBUs à se connecter à Internet.



Figure 1.5 – Le dispositif RSU (Road Side Unit) [13].

- **OBU (On-Board Units)**

Ce sont des unités embarquées dans les véhicules intelligents (Figure 1.6), Leur rôle La localisation, la réception, le calcul, le stockage et l'envoi des données sur le réseau, elles regroupent un ensemble de composants matériels et logiciels de hautes technologies (GPS, radar, caméras, différents capteurs et autres).



Figure 1.6 – Le dispositif OBU (On Board Unit) [13].

1.4.4 Modes de communication pour les réseaux VANets

Un VANet en général consiste en un véhicule mobile communiquant avec d'autres véhicules ainsi qu'avec des RSUs à proximité, pour cela il n'y a pas d'architecture ou de topologie fixe qu'un VANet doit suivre. Trois approches sont proposées pour les architectures des VANets :

- **Communications Véhicule à Véhicule (V2V)** Permet la communication entre véhicules sans avoir besoin d'une infrastructure et aucune installation n'est nécessaire sur les routes et tous les véhicules sont équipés pour communiquer directement entre eux n'importe où, que ce soit sur les autoroutes, des routes de montagnes ou des routes urbaines, cela permet une communication moins chère et plus flexible. Cette approche souffre de certains inconvénients dont nous citons :

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

- **Communications Véhicule à Infrastructure (V2I)**

Dans cette catégorie, on ne se concentre sur des systèmes de communications utilisent des stations de bases ou points d'infrastructure RSU (Road Side Units, dénomination proposée par le consortium C2C-CC). Cette approche repose sur le modèle client/serveur où les véhicules sont les clients et les stations installées le long de la route sont les serveurs. Ces serveurs sont connectés entre eux via une interface filaire ou sans fil. Toute communication doit passer par eux. Ils peuvent

aussi offrir aux utilisateurs plusieurs services concernant le trafic, accès à internet, échange de données de voiture-à-domicile et même la communication de voiture-à-garage pour le diagnostic distant.

- **Communications Hybrides (V2V-V2I-I2I)**

C'est une solution hybride reposant sur les réseaux ad hoc de véhicules et sur l'infrastructure (V2R), ainsi, sur l'exploitation des performances améliorées par la combinaison entre l'infrastructure et le réseau sans fil, garantissant ainsi une meilleure communication entre tous les véhicules.

1.4.5 Technologies utilisées dans la communication véhiculaire

La communication véhiculaire, également connue sous le nom de V2X (Vehicule-to-Everything), implique la transmission d'informations entre les véhicules et leur environnement, y compris d'autres véhicules, les infrastructures routières et les piétons. Les technologies suivantes sont utilisées pour la communication véhiculaire :

- **Communications dédiées à courte portée (DSRC)**

Les systèmes DSRC sont basés sur la norme IEEE 802.11p, qui utilisent une bande de fréquence de 5.9 GHz. Les dispositifs DSRC peuvent communiquer directement entre eux, ainsi qu'avec les infrastructures routières

- **Cellular Vehicule-to-Everything (C-V2X)**

Le C-V2X utilise les réseaux cellulaires pour communiquer entre les véhicules et leur environnement. Cette technologie est plus récente que le DSRC et peut fonctionner à la fois sur les réseaux 4G et 5G.

- **Global Navigation Satellite System (GNSS)**

Les systèmes GNSS tel que le GPS, sont utilisés pour fournir des informations de positionnement précis aux véhicules. Cette technologie est souvent utilisée en combinaison avec d'autres systèmes de communication pour améliorer la précision et la fiabilité des données.

- **Radar**

Les systèmes de détection par radar sont également utilisés pour détecter les objets environnants et mesurer leur distance et leur vitesse.

- **Caméra**

Les caméras sont utilisées pour détecter les obstacles et pour fournir des informations visuelles supplémentaires aux conducteurs.

- **Lidar**

Les systèmes de détection et de télémétrie par laser, appelés Lidar, sont utilisés pour détecter les obstacles et fournir des informations sur la distance et la position des objets environnants.

1.4.6 Domaines d'applications des VANets

Nombreuses sont les applications proposées pour les réseaux véhiculaires. Elles peuvent être classifiées en trois grandes catégories [14][15]. Voici quelques-unes des applications possibles des VANets :

1. Prévention et sécurité routière

Les VANets peuvent aider à améliorer la sécurité routière en fournissant des alertes de sécurité aux conducteurs, telles que des avertissements de collision imminente, des alertes de traversée de piétons, des alertes de conditions météorologiques dangereuses, etc.

2. Gestion de circulation

Les VANets peuvent être utilisés pour optimiser la gestion de la circulation, en aidant à identifier les problèmes de congestion et à les résoudre en temps réel. Les véhicules peuvent également recevoir des informations sur l'état du trafic et les itinéraires alternatifs.

3. Gestion de flotte

Les VANets peuvent être utilisés pour gérer efficacement les flottes de véhicules, en aidant à suivre la position et l'état de chaque véhicule en temps réel, à planifier les itinéraires et les horaires de maintenance, etc.

4. Conduite autonome

Les VANets peuvent jouer un rôle important dans la conduite autonome, en fournissant des informations sur l'environnement routier, telles que les conditions météorologiques, les obstacles sur la route, les signaux de circulation, etc.

En somme, les VANets peuvent offrir un large éventail d'applications potentielles pour améliorer la sécurité routière, optimiser la gestion de la circulation et de nouveaux services à bord des véhicules.

1.4.7 Défis dans les VANets

Les VANets héritent de la plupart des caractéristiques des MANets ainsi que de leurs défis. En plus de cela, les VANets sont également confrontés à de nouveaux défis qui découlent de leur caractéristique unique, qui peut être résumée comme suit :

1. La sécurité dans les VANets

L'importance et la sensibilité des informations échangées dans les réseaux VANets nécessitent plus d'attention et de mécanismes de sécurité. Les problèmes liés aux intrusions malveillantes dans les véhicules ont de graves conséquences pour tous les véhicules interconnectés. À cette fin, des mécanismes de sécurité spécifiques doivent être mis en place tels que (la cryptographie, le certificat numérique, système de détection d'intrusions, et c. pour s'assurer que seul le personnel autorisé peut accéder aux données et aux services du réseau et garantir que les services peuvent être fournis normalement.

2. Qualité de services offerts

La demande de qualité de service varie en fonction des applications prises en charge. La principale contrainte des applications de sécurité est la latence. Étant donné que la validité des informations est limitée dans le temps, les messages doivent être livrés rapidement pour être considérés comme pertinents. En ce qui concerne les applications de gestion du trafic, l'accent est principalement mis sur la définition d'algorithmes d'agrégation des données qui permettent d'inclure autant d'informations de trafic que possible dans les paquets diffusés [16].

3. Localisation de véhicules

Tous les véhicules possédant le système GPS (par satellite) sont informés de la localisation d'un véhicule quelconque (cas d'un accident par exemple). Le problème est que tous les véhicules ne sont pas équipés d'un système de repérage par satellite (GPS). Pour cette raison, un mécanisme de localisation sans utilisation de GPS est nécessaire. Le problème de localisation peut être amélioré si les nœuds peuvent collaborer avec les supports de localisation de l'infrastructure routière.

4. Problèmes de congestion

Les réseaux de véhicules intelligents (VANets) peuvent être confrontés à des problèmes de congestion, en particulier dans les zones urbaines densément peuplées. La congestion peut survenir lorsque le nombre de véhicules connectés au réseau dépasse la capacité de transmission du réseau, ce qui peut entraîner une baisse de la qualité de service, une augmentation du temps de latence et une diminution du débit de données. Il existe plusieurs techniques pour atténuer les problèmes de congestion dans les VANets parmi lesquelles : Gestion du trafic, Routage efficace, Allocation de ressources.

5. Canal radio fiable

La fiabilité du canal radio est un facteur crucial pour assurer une communication efficace et fiable entre les véhicules et les infrastructures de communication. Le canal radio dans les VANets peut être affecté par plusieurs facteurs, tels que la perte de paquets, les interférences et la variabilité du signal. Cela peut entraîner une dégradation des performances du réseau et une diminution de la qualité de service pour les utilisateurs. Pour améliorer la fiabilité du canal radio dans les VANets, plusieurs techniques peuvent être utilisées, notamment : le contrôle d'erreur, la diversité de transmission, la retransmission sélective et la gestion de la puissance de transmission.

6. Routage dans les VANets

Le routage dans les VANets est un sujet important car il permet aux véhicules de communiquer entre eux pour échanger des informations de manière efficace. Dans les VANets, les véhicules peuvent être interprétés comme des nœuds mobiles qui se déplacent à des vitesses élevées, ce qui présente des défis particuliers pour le routage des paquets. Ils existent différents protocoles de routage pour les VANets classés en différentes catégories Pour que les véhicules puissent communiquer entre eux.

1.5 Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons exploré les notions fondamentales des réseaux sans fil, en mettant l'accent sur les réseaux ad hoc et les VANets. Nous avons défini les réseaux ad hoc comme des réseaux temporaires et auto-organisés, capables de fonctionner sans infrastructure préexistante. Ensuite, nous nous sommes penchés sur les VANets, qui sont des réseaux ad hoc spécialisés dans les communications entre véhicules. Nous avons examiné leurs caractéristiques, leurs composants et leurs domaines d'application. De plus, nous avons identifié les défis spécifiques auxquels sont confrontés les VANets. Le prochain chapitre se concentrera spécifiquement sur l'un des défis cruciaux des VANETS : le routage. Nous allons voir le rôle de routage ainsi que la classification des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires.

Chapitre 2

Protocoles de routage dans les VANets

2.1 Introduction

Le routage joue un rôle essentiel dans les réseaux véhiculaires. Bien que des protocoles aient été proposés dans la littérature pour étendre les réseaux MANets, la plupart d'entre eux ne conviennent pas efficacement aux VANets. Cette incompatibilité est due à la nature dynamique des réseaux véhiculaires, qui se traduit par des changements fréquents de la topologie du réseau. Afin d'assurer une transmission continue des messages dans le réseau véhiculaire, il est nécessaire que les protocoles de routage prennent en compte les caractéristiques spécifiques des VANets. Dans ce chapitre, nous présentons la problématique du routage dans les VANets et la classification des protocoles de routage, en citant des exemples de protocoles de chaque classe.

2.2 Définitions

2.2.1 Routage

Le routage est une méthode d'acheminement des informations vers la bonne destination à travers un réseau de connexion, il consiste à assurer une stratégie qui garantit, à n'importe quel moment, un établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre n'importe quelle paire de nœuds appartenant au réseau, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue.

2.2.2 Protocole

Un protocole est un ensemble de règles et de procédures à respecter pour émettre et recevoir des données sur un réseau. Il en existe plusieurs selon ce que l'on attend de la communication.

2.2.3 Protocole de routage

Le protocole de routage est un programme qui sert à déterminer la route optimale pour le transfert des données entre deux nœuds. Le routage dans les réseaux ad hoc est différent de routage traditionnel utilisé dans les réseaux à infrastructure ce dernier dépend de plusieurs facteurs dont la mobilité, la topologie, la manière de la sélection de la route.

Il existe différents types de protocoles de routage, tels que les protocoles de routage à vecteur de distance (distance-vector routing protocols), les protocoles de routage à état de lien (link-state routing protocols) et les protocoles de routage basés sur le chemin (path-based routing protocols). Chaque type de protocole a ses propres caractéristiques et mécanismes de fonctionnement pour assurer un routage efficace des données dans le réseau.

2.3 Routage dans les VANets

Le routage joue un rôle extrêmement crucial dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANets) car tous les services, qu'ils soient unicast ou multicast, reposent sur des communications multi-saut pour acheminer les données, les transferts des fichiers et les jeux. Le routage joue un rôle extrêmement crucial dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANets) car tous les services, qu'ils soient unicast ou multicast, reposent sur des communications multi-saut pour acheminer les données, transférer des fichiers et prendre en charge les jeux. Les protocoles de routage utilisent des informations locales, concernant le voisinage immédiat, ou globales, couvrant l'ensemble du réseau, afin de déterminer les nœuds relais qui participent à l'acheminement des données. Les communications multicast sont largement utilisées dans des applications telles que la sécurité et la gestion du trafic, notamment pour les avertissements de collision et le platooning. En revanche, les communications unicast sont généralement employées dans des applications de confort.

2.4 Problème de routage dans VANets

Les réseaux de véhicules intelligents (VANets) sont des réseaux ad hoc sans fil formés par des véhicules équipés de technologies de communication sans fil. Ces réseaux sont utilisés pour établir des connexions entre les véhicules et les infrastructures routières pour améliorer la sécurité et l'efficacité du transport. Cependant, les VANets présentent des défis en matière de routage, notamment

1. Mobilité des véhicules

Les véhicules se déplacent à des vitesses élevées et changent de direction de manière imprévisible. Cela rend difficile la mise en place de routes stables et fiables pour les transmissions de données.

2. Topologie du réseau

Les réseaux VANets ont une topologie dynamique, où les nœuds (véhicules) se déplacent constamment et entrent et sortent du réseau. Cette instabilité de la topologie rend difficile la détermination de la meilleure route pour transmettre les données.

3. Environnement urbain dense

Dans un environnement urbain dense, les obstacles tels que les immeubles, les ponts, les tunnels, etc. peuvent affecter la qualité du signal radio entre les nœuds. Cela peut entraîner une perte de données ou une diminution des performances du réseau.

2.5 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANets

Il existe plusieurs approches pour classer les protocoles de routage dans les réseaux VANets. Voici une des principales classifications (figure 2.1)

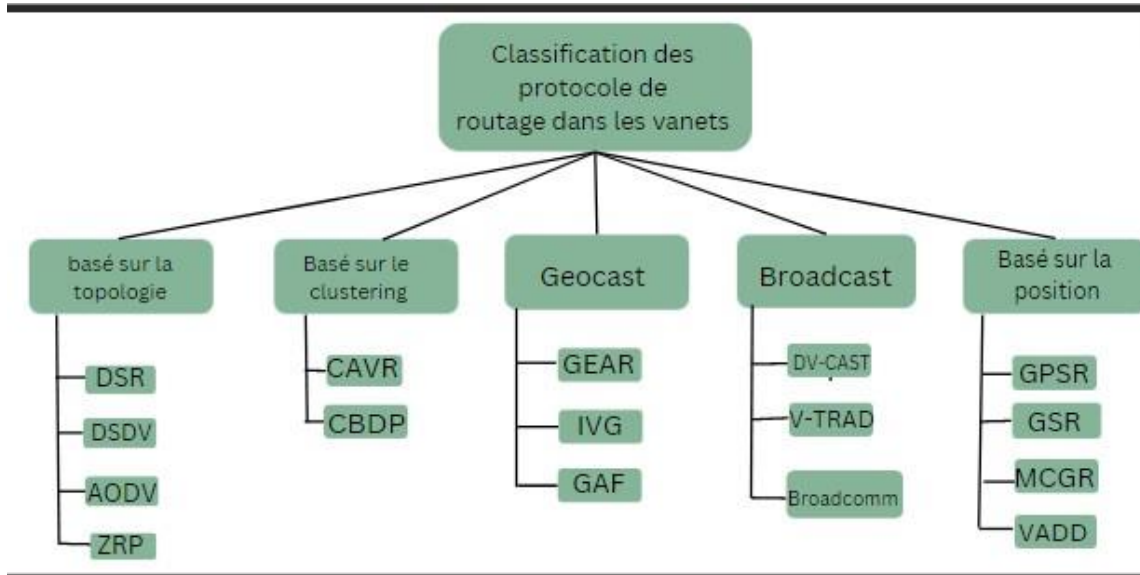


Figure 2.1 – Classification des protocoles de routage dans les VANets [17].

2.5.1 Basé sur la topologie

Ce sont des protocoles qui prennent en compte les informations sur la topologie du réseau, c'est-à-dire la façon dont les routeurs sont connectés les uns aux autres, pour prendre des décisions de routage. Plus précisément, Ces protocoles utilisent les informations sur les liens du réseau pour la transmission des paquets. Voici quelques exemples de protocoles de routage basés sur la topologie :

- **AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector)**

Le protocole AODV [18] fonctionne en établissant des routes uniquement lorsque cela est nécessaire, en utilisant le principe de numéro de séquence pour favoriser les routes les plus récentes ou fraîches. De plus, il utilise le nombre de sauts comme critère pour choisir parmi les différentes routes disponibles. Trois types de paquets sont utilisés par AODV : les paquets de requête de route RREQ (Route Request Message), les paquets de réponse de route RREP (Route Reply Message) et les paquets d'erreur de route RERR (Route Error Message), (Figure 2.2).

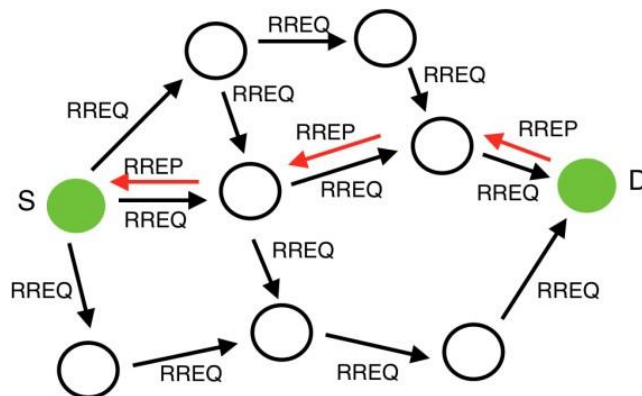


Figure 2.2 – Méthode de construction d'une route [18]

- **DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector)**

DSDV [19] est un protocole de routage proactif qui fait partie de la famille des protocoles de routage à vecteur de distance.

L'objectif principal de DSDV est de fournir un mécanisme de routage sans boucle et efficace dans un environnement réseau dynamique. Il y parvient en maintenant une table de routage à chaque nœud, qui contient des informations sur les routes disponibles vers différentes destinations dans le réseau. Chaque entrée de la table de routage comprend l'adresse de destination, le prochain saut pour atteindre cette destination, la distance ou la métrique pour atteindre la destination, ainsi qu'un numéro de séquence qui aide à déterminer la fraîcheur des informations de routage et leur permettant de mettre à jour leurs tables de routage en conséquence.

- **ZRP (Zone Routing Protocol)**

ZRP [20] est un protocole de routage Hybride basé sur le concept de zones, où le réseau est divisé en plusieurs zones. Chaque zone est composée d'un ou plusieurs nœuds, et un nœud spécifique est désigné comme le nœud de bordure (border node) de la zone. Les nœuds de bordure ont pour rôle de gérer les communications entre les zones et les autres nœuds du réseau.

2.5.2 Basé sur le clustering

Dans ce type de protocole de routage, les véhicules ou les nœuds mobiles qui sont à proximité des autres forment un groupe ou (cluster, grappes), et dans chaque groupe un CH (Cluster Head) est désigné comme un chef de groupe. La formation de groupes et la sélection du chef de groupe sont des processus déterminants [21]. Chaque chef de groupe est responsable de la gestion des nœuds au sein d'un même groupe, mais également de la gestion entre les autres. La communication diffère toute fois dans ces deux cas. La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupes [22] [23]. Exemples de protocole de routage de cette classes :

- **CBLR (Cluster Based Location Routing)**

CBLR [24] Est un protocole de routage réactif basé sur les groupes. Chaque chef de groupe conserve une table de routage contenant les adresses et les localisations géographiques des nœuds de son propre groupe et des nœuds passerelles [22], en plus de maintenir une table de routage des groupes voisins. Lorsqu'une source veut envoyer des données à une destination, le chef de groupe vérifie d'abord si la destination est dans le même groupe ou non. Si celle-ci est dans le même groupe, il envoie le paquet à la plus proche voisine de la destination ; Sinon, la source stocke le paquet de données dans son tampon. Le CBLR est adapté aux réseaux à haute mobilité, puisqu'il met à jour la localisation de la source et de la destination à chaque fois avant de commencer la transmission de données [22].

- **CBDRP (Cluster-Based Directional Routing Protocol)**

CBDRP [24] est un protocole de routage directionnel basé sur les groupes son principe de fonctionnement est de diviser les véhicules en groupes et les véhicules qui se déplacent dans la même direction sous forme d'un cluster. La source envoie le paquet au chef de son groupe, puis ce dernier transmet le paquet au chef du groupe de destination, qui le transmet à son tour à la destination. Le CBDRP prend en considération la vitesse et la direction du véhicule [22] [23].

2.5.3 Géocast

Les protocoles de cet classe permettent d'envoyer des messages à un groupe spécifique de véhicules situés dans une zone géographique donnée. Ils utilisent les informations de localisation pour acheminer les messages uniquement vers les nœuds qui se trouvent dans la zone cible. Exemples de protocole de routage géocast :

- **GRP (Geocasting Routing Protocol)**

GRP [25] permet l'envoi de messages à un groupe spécifique de véhicules situés dans une zone géographique donnée. Lorsqu'un véhicule souhaite diffuser un message à une zone cible, il utilise des mécanismes de routage basés sur la localisation pour transmettre le message uniquement aux véhicules présents dans la zone spécifiée. Cela réduit la surcharge du réseau en limitant la diffusion aux seuls destinataires pertinents.

- **IVG (Intersection-based Vehicular Geocasting)**

IVG [26] est un protocole de routage géocast spécifiquement conçu pour les intersections dans les VANets. C'est un protocole qui optimise la dissémination d'information, limite le nombre de sauts qu'un message peut effectuer. Lorsqu'un véhicule souhaite envoyer un message à tous les véhicules situés dans une intersection spécifique, il diffuse le message aux véhicules voisins et ceux-ci le relaient à d'autres véhicules dans leur voisinage. Les véhicules qui se trouvent dans l'intersection spécifiée traitent le message et prennent des actions en conséquence, tandis que les autres véhicules le rejettent.

2.5.4 Broadcast

la classe de routage "broadcast" fait référence à une méthode de communication dans laquelle un message est envoyé depuis une source vers tous les nœuds du réseau. Les protocoles de routage broadcast dans les VANets visent à assurer une large diffusion des informations, ce qui peut être utile dans divers scénarios, tels que la diffusion d'alertes de sécurité, la distribution d'informations routières ou les annonces générales. Exemples de protocole de routage broadcast :

- **UMB (Urban Multihop Broadcast Protocol)**

Le protocole de routage UMB [9] est un protocole basé sur une diffusion multi saut pour les réseaux inter véhiculaires avec support d'infrastructure, dans le but de réduire les collisions et d'utiliser efficacement la bande passante [27] [21]. UMB charge les nœuds les plus éloignés de l'envoi de paquets sans connaître à priori des informations sur la topologie du réseau par conséquent la sélection du nœud le plus éloigné est fondée sur la transmission du plus long signal. Cela implique une latence élevée et limite son usage dans les cas d'urgence.

- **DVCAST (Distributed vehicular broadcast protocol)**

Le protocole de diffusion distribué pour les véhicules, utilise le principe de diffusion. Chaque véhicule utilise un drapeau (flag) [28] pour vérifier si le paquet est redondant ou non et il utilise des informations locales de topologie en envoyant des messages périodiques «hello» pour diffuser les informations. DVCAST est un protocole qui divise les véhicules en trois catégories en fonction de leur connectivité locale : connecté, peu connecté et totalement déconnecté [21][27].

2.5.5 Basé sur la position

Un routage est dit basé sur la position (ou géographique) lorsque les décisions d'acheminement sont basées sur la position des nœuds. Ce type de routage utilise les informations sur l'emplacement ou la localisation des nœuds capteurs. Généralement ces informations sont nécessaires pour calculer la distance entre deux nœuds donnés, et estimer des lors la puissance nécessaire pour émettre les paquets. La position des nœuds peut être récupérée directement en utilisant des systèmes de localisation, tels que le GPS (Global Position System) [29]. Cette technique de routage consiste à router l'information vers le nœud dont on cherche après avoir obtenu la zone dans laquelle il se trouve. Les protocoles suivants : GPSR[30], GSR[32], GyTar[33], VADD[34] sont des exemples de protocoles de cette classe.

- **GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)**

GPSR [30] est un protocole de routage réactif, adapter aux réseaux ad-hoc mobile et au réseaux capteur. Il utilise la position géographique des nœuds pour acheminer des paquets de données ou de contrôle. GPSR repose sur deux algorithmes distincts : le routage «gourmand» (de l'anglais «Greedy»), qui consiste à envoyer

l'information au nœud le plus proche de la destination, plutôt que le nœud le plus proche ou le dernier nœud dans la zone de transmission.
Soit le nœud E sur la Figure 2.3 [31].

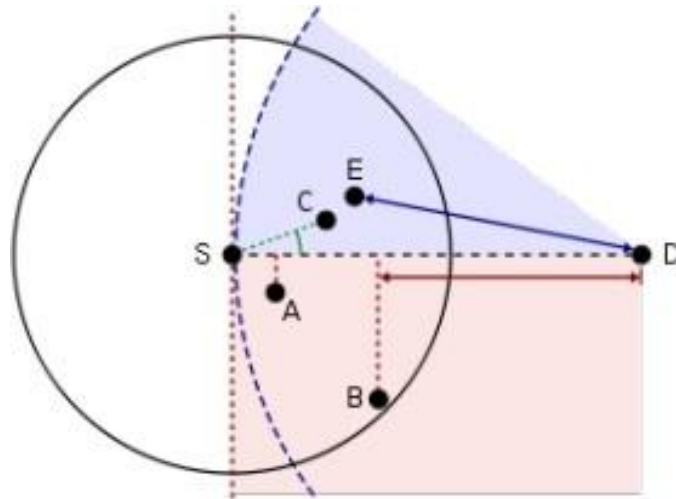


Figure 2.3 – Greedy Routing [31]

Un "minimum local" est un nœud qui n'a pas de nœud intermédiaire plus proche de la destination que lui-même. Lorsqu'un nœud est considéré comme un minimum local, le protocole GPSR utilise le Face Routing. Le Face Routing permet de transmettre l'information de la source à la destination en essayant de rester aussi proche que possible de la ligne imaginaire tracée entre la source et la destination, comme illustré dans la Figure 2.4 [31].

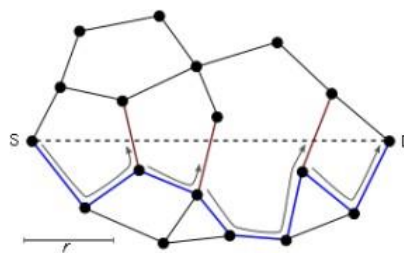


Figure 2.4 – Face Routing [31]

- **GSR (Global State Routing)**

GSR [32] est un protocole proactif à état de liens où chaque nœud connaît la topologie globale du réseau ce qui lui permet de calculer les routes pour atteindre chaque destination. GSR diffère des protocoles à état de liens dans le fait que les nœuds ne diffusent pas leurs états de liens à tout le réseau, mais ils se limitent à l'envoyer

aux voisins uniquement. Ainsi, GSR réduit le trafic des paquets de contrôle. Pour cela, il suit les étapes suivantes : Découverte des nœuds voisins, la construction de la table de routage, puis, la transmission de paquets et enfin, la mise à jour de la table de routage. Parmi les avantages de ce protocole GSR, on peut citer son efficacité en termes de consommation d'énergie et sa robustesse face aux changements de topologie.

- **GyTar (Geographic-based Traffic-aware Routing)**

Le protocole de routage GyTar [33] est un protocole spécifiquement conçu pour les VANets (Vehicular Ad-Hoc Networks). Il vise à faciliter le routage efficace des données dans ces réseaux hautement mobiles.

GyTar utilise une approche basée sur le principe de la géoroute, c'est-à-dire qu'il exploite les informations de géolocalisation des véhicules pour prendre des décisions de routage. Le protocole utilise des algorithmes avancés pour estimer les positions et les mouvements des véhicules, ce qui lui permet de calculer les chemins les plus optimaux pour acheminer les données.

L'une des caractéristiques clés de GyTar est sa capacité à prendre en compte la dynamique du réseau, en s'adaptant aux changements de topologie dus à la mobilité des véhicules. Il peut réagir rapidement aux variations de la connectivité et ajuster les itinéraires en conséquence, assurant ainsi une transmission efficace des données.

- **VADD (Vector-based Ad-hoc Distance-Determining algorithm)**

VADD [34] est un protocole de routage unicast basé sur la position pour les réseaux ad-hoc sans fil. Il a été proposé pour résoudre le problème de routage dans les réseaux sans fil où les nœuds mobiles ne disposent pas d'une infrastructure de réseau fixe et où la topologie du réseau change fréquemment, ainsi pour gérer les problèmes des déconnexions fréquentes et de mobilité extrême de réseau véhiculaire.

VADD exploite le mouvement prévisible des véhicules pour décider de retransmettre ou non le message. Il utilise particulièrement les informations sur le trafic routier au niveau d'une route pour estimer le délai mis par un paquet pour parcourir un tel segment. Par conséquent, les paquets seront acheminés le long d'un chemin ayant le plus faible délai de bout en bout [35].

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé le concept et la problématique de routage dans les réseaux VANets , ainsi que la classification des protocoles en fonction de différents critères, en mettant l'accent sur certains protocoles de routage de base qui sont originellement définis dans les réseaux MANets mais qui ont été adaptés et déployés dans les VANets, tels que ADOV, DSDV, ainsi que d'autres protocoles spécifiquement conçus pour les VANets comme VADD, UMB et GPSR. Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons principalement sur le protocole VADD ou en présentant une étude plus approfondie du protocole VADD et des outils de simulation associés. Cette étude du protocole VADD nous permettra de mieux comprendre son fonctionnement, ses avantages et ses limitations dans le contexte spécifique des réseaux ad hoc véhiculaires.

Chapitre 3

Évaluation et implémentation du protocole de routage VADD

3.1 Introduction

Les réseaux de véhicules (VANets) sont devenus un domaine de recherche en plein essor, avec des applications variées telles que la sécurité routière, les transports intelligents et la gestion du trafic. Le protocole de routage VADD a été proposé comme une solution efficace pour le routage géographique dans les VANets. Dans ce troisième chapitre, nous nous plongeons dans une exploration approfondie du protocole de routage VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery) dans les réseaux véhiculaires ad hoc (VANets). Nous examinerons en détail le fonctionnement de ce protocole innovant qui vise à améliorer l'efficacité et la fiabilité des communications dans les VANets. Ensuite, nous nous intéresserons aux outils de simulation utilisés pour évaluer les performances du protocole de routage VADD.

3.2 Principe de fonctionnement du protocole VADD

On peut résumer le principe de fonctionnement du protocole VADD en quelques étapes :

1. Construction des vecteurs : chaque nœud dans le réseau est représenté par un vecteur bidimensionnel, composé de sa position géographique et de sa direction de mouvement. Ces vecteurs sont construits à l'aide des informations de localisation fournies par des capteurs GPS ou d'autres dispositifs de localisation.
2. Calcul de la distance entre les nœuds : la distance entre deux nœuds est calculée en utilisant la distance Euclidienne entre les vecteurs correspondants.
3. Découverte des voisins : chaque nœud diffuse périodiquement un message pour informer ses voisins de sa présence et de sa position. Les nœuds voisins répondent à ce message pour former un ensemble de voisins connus.
4. Construction des routes : le protocole VADD utilise des tables de routage pour stocker les routes disponibles vers chaque nœud du réseau. Lorsqu'un nœud souhaite transmettre des données à un autre nœud, il utilise l'algorithme de routage VADD pour déterminer la meilleure route géographique vers le nœud de destination, en utilisant les vecteurs de position et de direction des nœuds.
5. Transmission de données : une fois que la meilleure route est déterminée, le nœud émetteur transmet les données au nœud avec la plus grande vitesse dans la voie de transport. Le processus se répète jusqu'à ce que les données atteignent le nœud de destination.

3.2.1 Mode de transmission des paquets pour VADD

VADD a trois modes de paquets en fonction de l'emplacement du véhicule qui transporte le paquet, à savoir,

- Mode Intersection : qui est le plus critique et le plus compliqué puisque les véhicules ont plus de choix à l'intersection.
- Mode chemin droit : la Transmission des paquets se fait vers la prochaine intersection cible.
- Mode Destination : Lorsqu'un nœud est en mode destination, cela signifie qu'il est en train de se déplacer vers sa destination finale.

En commutant entre ces modes de paquets en suivant la figure 3.1, le paquet transporteur prend le meilleur chemin de transfert de paquets.

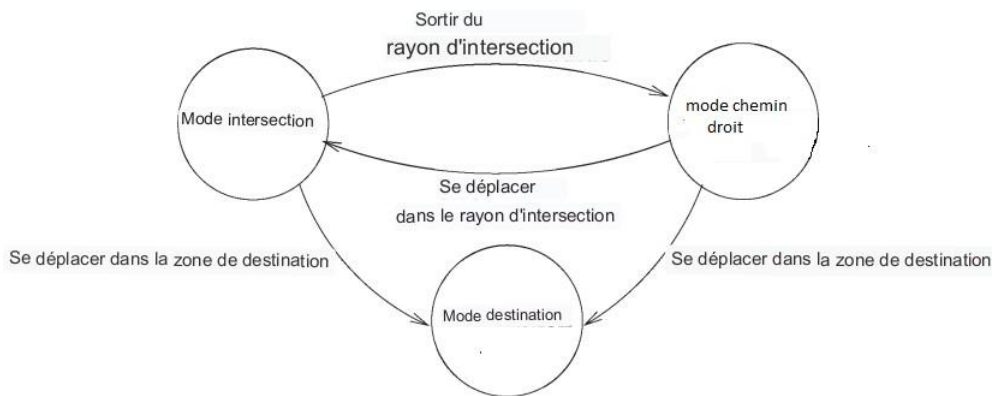


Figure 3.1 – Modes de transmission dans VADD) [34]

3.2.2 Mécanisme de transmission des paquets pour VADD

- **Location first Probe (L-VADD) :**

L-VADD essaie de trouver le contact le plus proche vers une direction comme saut suivant. Sans tenir compte de la direction du mouvement. Exemple illustré dans la figure 3.2 ci-dessous :

- Le nœud A souhaite envoyer un paquet de données au nœud D.
- Le nœud A connaît la position géographique de D comme étant sa destination finale.
- Le véhicule A transmet le paquet à B sans prendre en compte la destination. Il paraît que c'est mieux que de sélectionner C comme prochain saut puisque B peut directement transmettre le paquet à D. Le choix B semble aussi bon que le choix C puisque B rencontrera C sous peu de temps et le paquet peut être transmis à C de toute façon. Cependant,

L-VADD peut provoquer des boucles de routage.

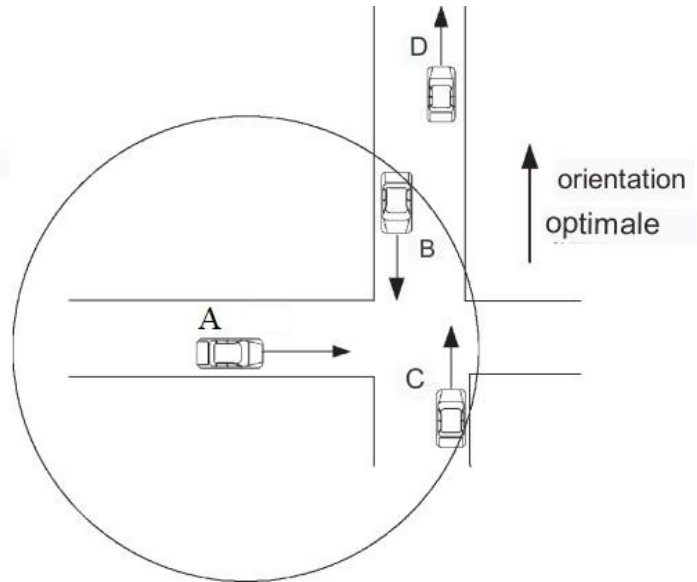


Figure 3.2 – Exemple de transmission de paquets en utilisant le mécanisme L-VADD [34]

L'inconvénient dans cette méthode est le problème de boucle au niveau du routage. Pour éviter ce problème, chaque nœud ajoute des informations sur ces anciens sauts avant d'envoyer un paquet, le nœud regarde les informations concernant les sauts et essaie de trouver d'autres sauts disponibles, de sorte qu'il peut éviter le problème de boucle au niveau du routage. Malgré que nous pouvons enregistrer les précédentes informations de saut pour détecter les boucles de routage, de nombreuses transmissions valides ne peuvent pas être utilisés. la figure 3.3 montre le problème

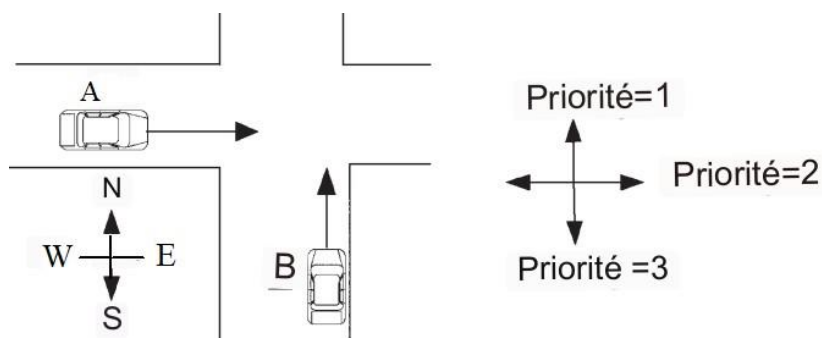


Figure 3.3 – Scénario de boucle de routage [34]

si A est le transporteur de paquets après détection d'une boucle de routage, et il n'y a plus

d'autre contact disponible sauf B. Supposons que, après que A et B aient réussi le centre de l'intersection, A continué à aller vers l'Est et B au nord. Le paquet doit être transmis à B car B se déplacera vers la meilleure direction, et le chemin entre A et B deviennent sans boucle. Cependant, comme le paquet enregistre B comme saut précédent, le transfert du paquet vers B n'est pas autorisé.

- **Direction first Prob (D-VADD) :**

La boucle de routage se produit parce que les véhicules n'ont pas une priorité cohérente (ne sont pas d'accord sur qui doit transporter le paquet) Pour résoudre ce problème, D-VADD s'assure que tout le monde est d'accord sur l'ordre de priorité, en laissant le nœud qui a le même sens de déplacement que la destination transporte le paquet, ce qui permet d'éviter les boucles de routage.

- **Hybride Probe VADD (H-VADD) :**

C'est un système hybride qui tire parti à la fois de L-VADD et de D-VADD, pour délivrer un paquet, en envoyant un paquet, il utilise d'abord L-VADD, puis passe à D-VADD si une boucle de routage est trouvée. Par conséquent, ce système fonctionne beaucoup mieux que les méthodes L-VADD et D-VADD.

3.2.3 Modèle de propagation utilisé par VADD

Le modèle de propagation pour le protocole VADD est le modèle «Shadowing» (modèle d'ombre). Ce modèle ne tient pas compte des phénomènes imprévisibles que peut subir le réseau car il n'exige pas l'existence d'un chemin direct entre l'émetteur et le récepteur [35].

3.3 Avantages

- **Amélioration de la latence :**

Grâce à son routage basé sur la proximité géographique, le VADD réduit la latence de transmission des données. Les informations sont transmises directement entre les véhicules les plus proches, ce qui réduit les retards liés aux délais de transmission et de propagation dans le réseau.

- **Adaptabilité aux changements de topologie :**

Les réseaux VANET sont caractérisés par une mobilité élevée et une topologie dynamique. Le VADD est conçu pour s'adapter à ces changements de manière efficace. Il est capable de recalculer rapidement de nouvelles routes lorsque des véhicules se déplacent ou entrent/sortent du réseau, assurant ainsi une connectivité continue et une communication fiable.

- **Économie d'énergie :**

VADD vise à optimiser l'utilisation de l'énergie dans les réseaux VANET en réduisant le nombre de transmissions redondantes. En choisissant les routes les plus

courtes et en favorisant le routage direct entre les véhicules, il réduit la consommation d'énergie nécessaire pour la transmission des données.

3.4 Limitations

- **Gestion des erreurs et de la congestion :**

Le protocole de routage VADD ne fournit pas de mécanismes intégrés pour gérer les erreurs de transmission ou la congestion du réseau. En cas de perte de paquets ou de congestion, il n'y a pas de mécanismes de récupération automatique ou de contrôle de flux, ce qui peut entraîner des performances réduites ou des perturbations du réseau.

- **Gestion des nœuds mobiles :**

Le protocole de routage VADD est conçu pour des réseaux ad hoc où les nœuds se déplacent de manière prévisible. Cependant, il peut rencontrer des difficultés lors de la gestion de nœuds mobiles rapides ou erratiques. La mise à jour fréquente des positions géographiques et l'adaptation aux changements rapides de la topologie peuvent être un défi.

- **Impact des obstacles :**

Le protocole de routage VADD ne prend pas en compte les obstacles physiques présents dans l'environnement. Lorsque des obstacles tels que des bâtiments ou des collines bloquent la ligne de vue entre les nœuds, cela peut entraîner des chemins de transmission inefficaces ou des ruptures de connectivité.

3.5 Simulation de la communication réseaux

Dans les réseaux véhiculaires ad hoc (VANets), plusieurs outils sont utilisés pour simuler et évaluer les communications. Voici quelques-uns des outils couramment utilisés :

3.5.1 Simulateur NS2

Le simulateur NS2 [36] permet de modéliser, simuler et évaluer le comportement des réseaux de communication. Le simulateur NS2 est construit sur une extension du langage de programmation Tcl. Pour utiliser NS2, les utilisateurs doivent programmer la topologie du réseau et le comportement de ses composants. Ensuite, la simulation est exécutée et les résultats sont interprétés. NS2 est un programme complexe écrit en C++ avec une interface Tcl. Afin de modifier le comportement des objets existants, il est nécessaire de modifier le code C++ correspondant. Un outil annexe appelé nam est également disponible, qui permet la visualisation et l'analyse des éléments simulés. Tcl (Tool Command Language) est un langage de commandes utilisé pour contrôler les applications. Il s'agit

essentiellement d'un langage de scripts qui offre des structures de programmation telles que les boucles, les procédures et les variables.

3.5.2 Simulateur OMNET++

Le simulateur OMNeT++ [37] est un environnement de simulation à événements discrets utilisé principalement pour la simulation de réseaux de communication. Il offre une architecture modulaire qui permet de modéliser et de simuler des systèmes complexes tels que des réseaux de capteurs, des réseaux sans fil, des systèmes distribués, etc. OMNeT++ est basé sur le langage de programmation C++, ce qui permet aux utilisateurs de définir leurs modèles de simulation en utilisant ce langage. Le modèle est composé de modules qui interagissent entre eux en échangeant des messages. Les modules peuvent représenter des nœuds, des dispositifs, des protocoles, des applications, etc.

OMNeT++ fournit également un langage de description de réseau appelé NED (Network Description Language) qui permet de définir la topologie du réseau, les propriétés des modules et les connexions entre eux de manière déclarative.

La figure 3.4 représente un exemple d'interface d'omnet++.

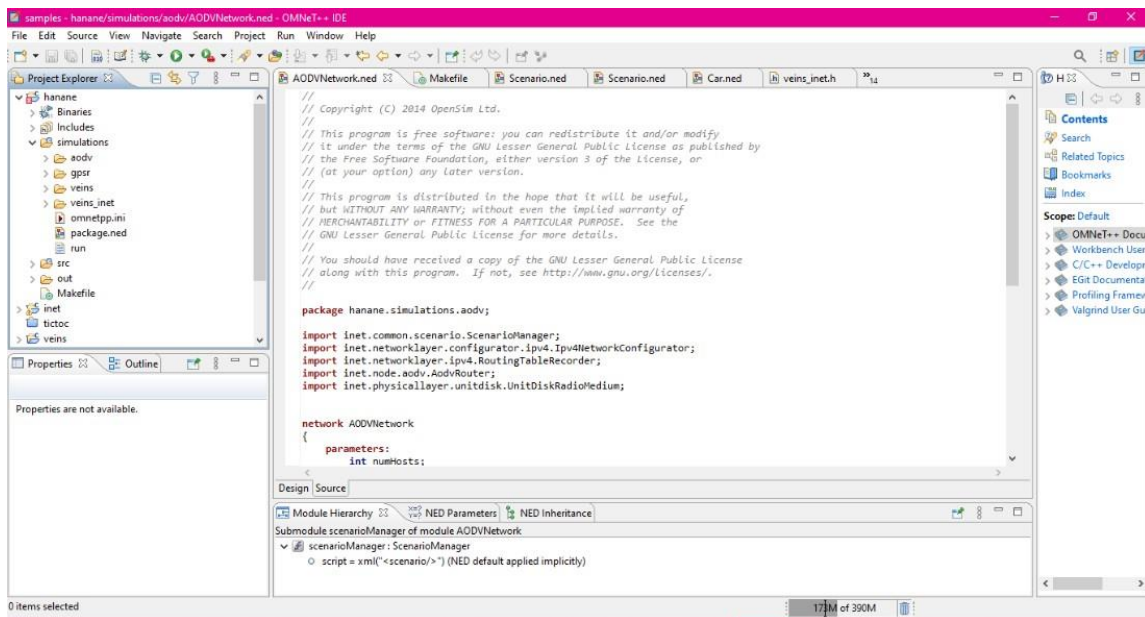


Figure 3.4 – Interface d'OMNET++.

3.5.3 Choix de simulateur OMNET++

OMNET++ sera notre environnement de simulation, pour défère raison Voici quelques-uns des avantages et points forts d'OMNeT++ qui nous as orienté à choisir ce simulateur.

- Son Architecture modulaire : OMNeT++ offre une architecture modulaire qui permet aux utilisateurs de construire des modèles de simulation en assemblant

des modules réutilisables. Cela facilite la création de modèles complexes et permet une meilleure organisation et structuration du code.

- Langage de programmation C++ : OMNeT++ est basé sur le langage de programmation C++, qui est largement utilisé et offre une grande flexibilité et puissance de programmation. Cela permet aux utilisateurs d'implémenter des modèles personnalisés avec un contrôle précis sur le comportement des composants du réseau.
- Large bibliothèque de modèles : OMNeT++ dispose d'une vaste bibliothèque de modèles préconstruits pour différents types de réseaux et protocoles. Cela permet aux utilisateurs de bénéficier d'une base solide pour leurs études et de gagner du temps en utilisant des modèles existants plutôt qu'en créant tout depuis zéro.

3.6 Simulation de la mobilité

Pour la simulation de la mobilité dans les réseaux véhiculaires ad hoc (VANets), il existe plusieurs outils spécifiquement conçus pour modéliser les mouvements des véhicules. Pour simuler la mobilité des véhicules dans mon étude, j'ai opté pour l'utilisation de SUMO, un outil de simulation largement reconnu et utilisé dans le domaine des réseaux véhiculaires ad hoc (VANets) :

3.6.1 Sumo (Simulation of Urban MObility)

Il s'agit d'un simulateur à code source ouvert [38], qui offre la possibilité de modéliser et de simuler le mouvement des véhicules dans un environnement routier. SUMO, acronyme de "Simulation of Urban Mobility", est un logiciel de simulation de trafic largement utilisé. Il permet de créer des scénarios réalistes en définissant des réseaux routiers, des nœuds de départ et d'arrivée, ainsi que des comportements de conduite spécifiques aux véhicules.

3.6.2 Génération de la carte routière (SUMO)

Afin de générer une carte sur le simulateur sumo, on est passés par deux phases : la première est la création du réseau, la deuxième est la création des routes [31].

- **Création du réseau**

Cette phase consiste à créer trois fichiers

- **Node file** : Il s'agit d'un fichier contenant un ensemble de nœuds du réseau routier, où chaque nœud est défini par ses coordonnées x et y ainsi qu'un identifiant (id). Pour le créer il suffit d'écrire le code dans la figure 3.5 dans un fichier xml.


```
<nodes>
<node id="n1" x="0" y="50" type="traffic_light"/>
</nodes>
```

Figure 3.5 – Code de création des nœuds

- **Edge file** : Il s’agit d’un fichier qui établit des connexions entre les nœuds à l’aide de routes. Chaque route est spécifiée par un identifiant unique (id), un nœud source, un nœud destination, une priorité, le nombre de voies et la vitesse maximale autorisée. Pour le créer il suffit d’écrire le code dans la figure 3.6 dans un fichier xml.

```
<edges>
<edge from="n1" to="n5" id="1to5" type="2L15"/>
</edges>
```

Figure 3.6 – Code de création des arcs

- **MyType.type.xml** : création des types d’arc, pour les créer on écrit ce code qui est dans la figure 3.7 :

```
<types>
<type id="3L45" priority="3" numLanes="3" speed="45"/>
</types>
```

Figure 3.7 – Code de création des types d’arc

- **Net file** : Ce fichier est créé à partir de la commande NETCONVERT (figure 3.8), qui prend en entrée les fichiers type.xml, edg.xml et nod.xml (figure 3.9). La commande NETCONVERT lit ces fichiers et les convertit dans le format SUMO.

```
netconvert --node-files myNodes.nod.xml --edge-files
myEdges.edg.xml -t myType.type.xml -o myNet.net.xml
```

Figure 3.8 – Code généré sur net file

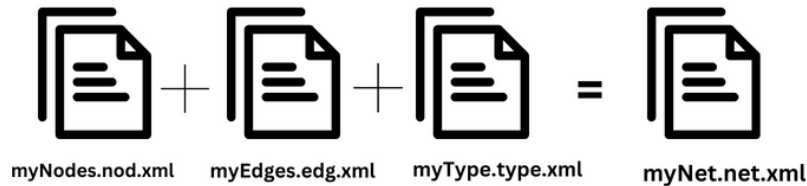


Figure 3.9 – Les fichier de création d’un réseau sur sumo

• Création des routes

- **Route file** : Ce fichier est créé à partir de la commande dans la figure 3.10. qui permet de trace les itinéraires des véhicules dans la carte réseau.

```
<routes>
<vType accel="1.0" decel="5.0" id="Car" length="2.0" maxSpeed="100.0" sigma="0.0"/>
<route id="route0" edges="1to5 5to3"/>
<vehicle depart="10" id="veh0" route="route0" type="Car" />
</route>
```

Figure 3.10 – Les fichier de création des véhicules et des routes

• Génération la carte réseau

Pour cette fase on crée un fichier avec une extension « .sumocfg»

- **Sumocfg file** : Le fichier Sumocfg est le résultat de la combinaison des fichiers Route file et Net file. Il s’agit du fichier de configuration de SUMO. Pour le faire on écrit le code de la figure 3.11 dans ce fichier.

```
<configuration>

<input>
<net-file value="myNet.net.xml" />
<route-files value="myRoute.rou.xml" />
</input>

<time>
<begin value="0" />
<end value="2000" />
</time>

</configuration>
```

Figure 3.11 – Code de création de la carte sumo

Après l'exécution des commandes précédentes nous abstenons le résultat représenté par la figure 3.14.

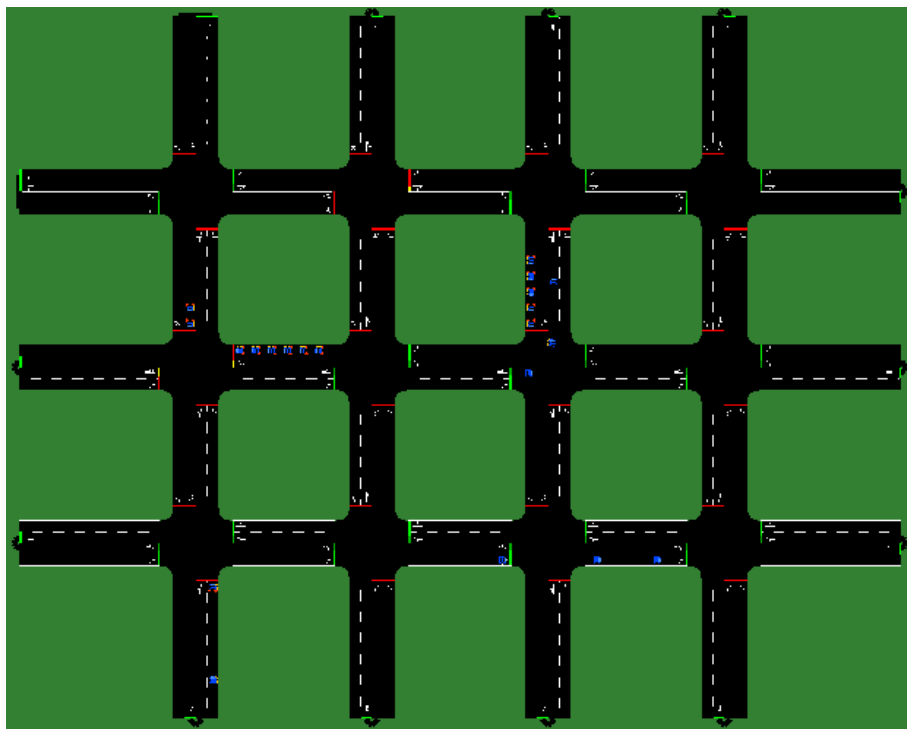


Figure 3.12 – Le résultat de la simulation sur sumo

3.7 Implémentation

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

3.7.1 Environnement matériel

La simulation va être exécutée sur un ordinateur de marque DELL, avec la configuration suivante (Figure 3.13) :

Processeur	Intel(R) Core(TM) i3-4005U CPU @ 1.70GHz 1.70 GHz
Mémoire	4.00 Go DDR3
Carte graphic	Intel(R) HD Graphics 5500
Disque dur	500 Go

Figure 3.13 – Configuration de l’ordinateur de simulation.

3.7.2 Environnement logiciel

Nous effectuerons notre simulation en utilisant le logiciel environnement suivant :

- **Système d’exploitation** : Microsoft Windows 10 Professionnel.
- **Le simulateur OMNet++ 5.6.2** : C’est un simulateur Open Source des réseaux de communication supportant des modèles de mobilités. Il est basé sur C++ et réalise des simulations discrètes [3][37].
- **Le simulateur SUMO 1.17.0** : SUMO est un simulateur open source, portable, de la circulation routière, fonctionnant à l’échelle microscopique et en temps continu. MinGW (Minimalist GNU for Windows) est un environnement de développement minimaliste pour les applications natives de Microsoft Windows [3][38].

3.7.3 Veins (Vehicles in Network Simulator)

Dans le but de tester et d’évaluer le protocole de routage VADD, nous avons choisi Veins 5.2, en combinaison avec SUMO et OMNET++ [39].

Veins [40] est un framework de simulation open source dédié à la communication inter-véhiculaire (IVC). Il se compose d’un simulateur de réseau basé sur les événements et d’un modèle de micro-traffic routier. Veins utilise deux simulateurs distincts, à savoir OMNeT++ pour la simulation du réseau et SUMO pour la simulation du trafic routier. Pour effectuer des évaluations IVC, ces deux simulateurs fonctionnent simultanément en parallèle et sont interconnectés via un socket TCP. La communication entre eux est réalisée à l’aide d’un protocole normalisé appelé Traci, qui sert d’interface de contrôle du trafic. Cette architecture permet d’effectuer une simulation bidirectionnelle couplée

entre le trafic routier et le réseau. Ainsi, les mouvements des véhicules dans le simulateur de trafic routier (SUMO) se reflètent par des déplacements des nœuds dans le simulateur réseau (OMNeT++). De cette manière, les nœuds peuvent interagir avec la simulation du trafic routier, permettant par exemple de simuler l'impact de l'IVC sur le trafic routier. On a choisis d'utiliser la version 5.2 de veins (voir figure 3.14).

3.7.4 INET Framework

Est un framework [41] de simulation réseau très utilisé qui offre une large gamme de modèles et de protocoles de communication. Il est basé sur OMNeT++ et est utilisé pour simuler des réseaux de communication traditionnels, tels que les réseaux filaires et sans fil. INET framework fournit des modèles de protocoles de routage, de transport, d'application, et c, permettant de simuler et d'évaluer différentes architectures et stratégies de communication. INET contient des modèles pour la pile à Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, et c). protocoles de couche de liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), le soutien à la mobilité, les protocoles des MANets, DiffServ, MPLS avec LDP et RSVP-TE signalisation, plusieurs modèles d'application, et de nombreux autres protocoles et des composants. Plusieurs autres Framework de simulation prennent INET comme base, et de l'étendre dans des directions spécifiques, tels que les réseaux de vé- hicules, superposition/réseaux Peer-to-Peer, ou LTE.

on a choisis d'utilisr la version 4.2.2 de inet framework (voir figure 3.14).

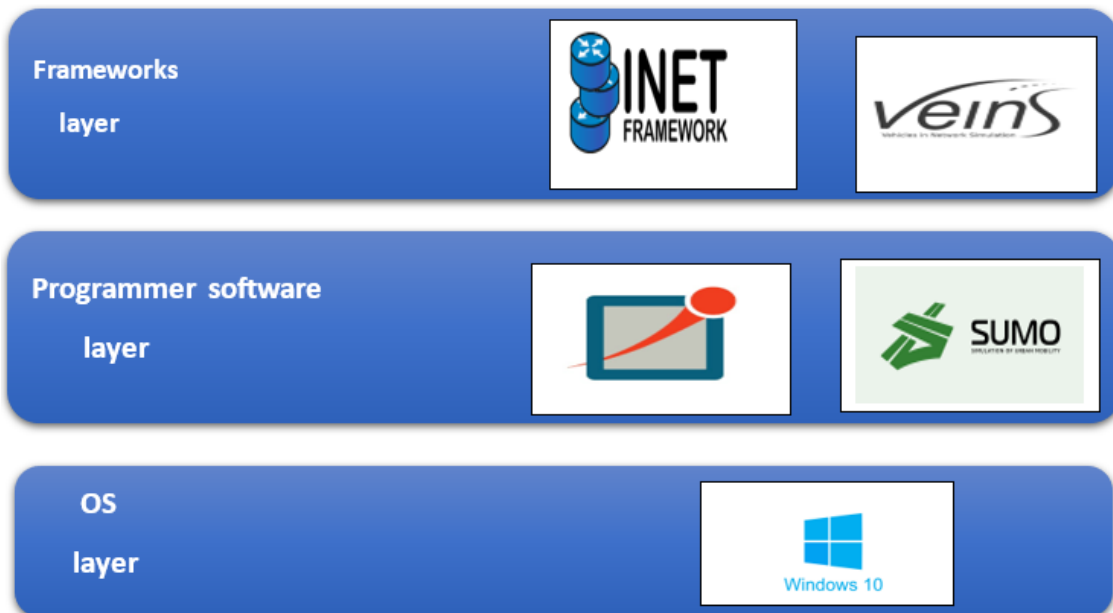


Figure 3.14 – Outils de simulation [39]

3.8 Métriques d'évaluation

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 :

1. **Délai moyen de bout en bout :** (de la source vers la destination)

Correspond au temps moyen nécessaire pour qu'un paquet de données soit acheminé depuis le nœud source jusqu'au nœud destination à travers le réseau VANet. Dans le protocole VADD le délai moyen peut varier en fonction des conditions du réseau, telles que la densité du trafic, la mobilité des véhicules et les éventuelles perturbations de la communication sans fil.

Afin d'obtenir le délai moyen de bout en bout, soit :

$$1/n \sum_{i=1}^n (Tr - Ts)$$

i = identification du paquet

Tr = temps de réception

Ts = temps d'envoi

n = Nombre des paquets reçus avec succès

Un bon protocole à des délais moyens de bout en bout qui sont les plus bas possible.

2. **Taux de livraison des paquets :** Packet Delivery Ratio (PDR) est une métrique qui mesure l'efficacité du protocole dans la livraison des données aux destinataires finaux. Le PDR est calculé en comparant le nombre de paquets de données envoyés par l'émetteur avec le nombre de paquets de données effectivement reçus par les destinataires. Le PDR est compris entre 0 et 1.

Un ratio données-livraison élevé indique une meilleure fiabilité du protocole VADD dans la transmission des données dans le réseau. En revanche, un ratio données-livraison bas peut signaler des problèmes potentiels au sein du protocole, tels que des pertes de paquets, des congestions du réseau ou des erreurs de routage.

On peut le multiplier par 100 si l'on souhaite obtenir un pourcentage.

Voici une formulation générale de l'équation :

$$PDR = \frac{\text{Nombre de paquets de données reçus avec succès}}{\text{Nombre total de paquets de données envoyés}} * 100$$

Dans cette équation, le nombre de paquets de données reçus avec succès correspond au nombre de paquets de données qui parviennent à destination sans être perdus ou corrompus. Le nombre total de paquets de données envoyés fait référence à l'ensemble des paquets de données transmis par l'émetteur.

3. **Taux de perte de paquets** : représente le rapport entre le nombre de paquets de données perdus et la somme de paquets livrés et le nombre de paquets perdus :

$$\text{tauxdeperte} = \frac{\text{Nombredepaquetsperdus}}{\text{Nombredepaquetsmis}}$$

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons examinés en détail le protocole de routage VADD et son fonctionnement dans les réseaux VANets. Nous avons analysé ses caractéristiques, notamment sa capacité à fournir une communication efficace et économe en énergie dans des environnements dynamiques et hautement distribués. Nous avons également présenté les outils de simulation utilisés pour implémenter ce protocole, ainsi que l'environnement de simulation utilisé, tels que Viens, SUMO et OMNET++.

Bien que le temps imparti ne nous a pas permis de finaliser pleinement l'implémentation de ce protocole, nous avons pu en explorer les principaux aspects et le détailler dans notre travail.

Conclusion générale et perspectives

Les systèmes de transport intelligents sont encore à un stade préliminaire de leur développement. À terme, l'évolution des nouvelles technologies favorise une transformation majeure des réseaux véhiculaires. Cette évolution vise à accroître l'efficacité, la fiabilité, la sécurité et l'aspect écologique des réseaux, tant du point de vue de l'industrie automobile que des opérateurs de réseaux et de services. Les réseaux véhiculaires sont une extension des réseaux MANets, permettant des échanges de données entre les véhicules eux-mêmes ou entre les véhicules et l'infrastructure environnante. Leur objectif est d'améliorer la sécurité et l'efficacité du transport routier, tout en offrant des services variés tels que l'accès à Internet, l'aide à la prise de décision et la navigation, dans le but d'améliorer le confort des usagers.

Dans ce mémoire on s'est concentré sur l'analyse des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires ad hoc (VANets). Nous avons commencé par classifier les protocoles de routage existants et fournir une définition pour chaque classe. Ensuite, nous avons approfondi l'étude du protocole VADD en détaillant son fonctionnement et en explorant ses principaux composants.

Bien que l'implémentation complète du protocole VADD n'ait pas pu être réalisée dans le cadre de ce mémoire, on a pu en présenter les concepts fondamentaux et les principaux mécanismes. De plus, dans le cadre de notre recherche, on propose une amélioration future significative en utilisant des modèles de régression basés sur les réseaux de neurones. Cette approche présente des perspectives prometteuses pour améliorer les performances et les capacités prédictives du protocole VADD. Les modèles de régression basés sur les réseaux de neurones offrent une capacité de prédiction plus avancée en exploitant les patterns et les relations complexes dans les données de mouvement des véhicules. Ils peuvent capturer des dépendances non linéaires et des interactions entre les variables, ce qui peut conduire à des prédictions plus précises et fiables du mouvement des véhicules. Dans la perspective de continuer le travail inachevé, il est prévu qu'on poursuive les efforts de recherche et de développement afin de finaliser l'implémentation du protocole de routage VADD et de réaliser les perspectives proposées ainsi des simulations approfondies pour évaluer ses performances.

Ce travail constitue une base solide pour approfondir les connaissances et les recherches dans le domaine des protocoles de routage dans les VANets, contribuant ainsi au développement et à l'amélioration des réseaux véhiculaires pour une mobilité plus intelligente et plus sécurisée

Bibliographie

- [1] <https://www.who.int/fr> (consulté le : 02/05/2023).
- [2] B. Tavli and w. Heinzelman "protocol architectures for energy efficient real - time data communications in mobile ad hoc networks" ; university of rochesterproquest dissertations publishing, thèse de doctorat, 2006.
- [3] N.Said "amélioration d'un protocole de routage basé sur la localisation géographique gpsr pour les vanets", université kasdi merbah-ouargla, mémoire master, 2018.
- [4] <https://cric.grenoble.cnrs.fr/administrateurs/documentations/sitewebauthentification/reseauwifi.php> consulté le : 08/06/2023.
- [5] B.Celine, contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc, limoges, thèse de doctorat, 2009.
- [6] A.Rachedi "contributions à la sécurité dans les réseaux mobiles ad hoc" université d'avignon et des pays de vaucluse, thèse de doctorat, 2008.
- [7] B.Hadjer, b.Yasmina "impact des modèles de mobilités sur les performances des pro- tocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux vanet (v2v), université abou bakr belkaid–tlemcen, mémoire fin d'étude, 2015.
- [8] A.Rachedi. « contributions à la sécurité dans les réseaux mobiles ad hoc. réseaux et télé-communications [cs.ni] » université d'avignon, thèse, 2008.
- [9] M.Yassine "routage dans les reseaux de vehicules (vanet) : cas d'un envernement type ville" université m'hamed bougara-boumerdes, mémoire de magister, 2011.
- [10] M.Bennada, "le cloud computing pour une gestion intelligente du trafic urbain : Proposition d'un service de prise en charge et de coopération pour la gestion de per- sonnes victimes de malaise pendant la conduite", univérsité oran, thèse de doctorat, 2018.
- [11] S.S.Shah, A.W.Malik, A.U.Rahman, S.Iqbal and S.U.khan "time barrier-based emer- gency message dissemination in vehicular ad-hoc networks" article in iee access, 2019.
- [12] AA.Kahina "modélisation et etude de performances dans les réseaux vanet" univer- sité de technologie de belfort-montbéliard,thèse de doctorat, 2012.
- [13] W.Ouksani "gestion de la protection de la vie privée dans les reseaux vehiculaires (vanet) " l'université du québec À trois-rivières, mémoire de magester , 2017.

- [14] Y. Khaled, M. Tsukada, J. Santa, J. Choi and T. Ernst. "a usage oriented analysis of vehicular networks : from technologies to applications" journal of communications, academy publisher, special issue on challenges in future vehicular ad hoc networks, 2009.
- [15] F. Bai, T. Elbatt, G. Holland, H. Krishnan and V. Sadekar. towards "characterizing and classifying communication-based automotive applications from a wireless networking perspective" first ieee workshop on automotive networking and applications(in conjunction with globecom), 2006.
- [16] Z. Dehbia, S.Samira "clustering dans les réseaux sociaux véhiculaire vsn" université mouloud mammeri de tizi ousou, mémoire de master, 2018.
- [17] M.K.nasir, S.A.Ali Shah, R.MD Noor and S.Parveen "a comparative study and stepwise approach for routing in vanets " university of malaya, article, 2014.
- [18] C.E. Perkins, E.M Belding-royer, and s.das. ad hoc on demand distance vector (aodv)routing,new orleans, la, usa, conference paper, 1999.
- [19] P.Sarao "comparison of aodv, dsr, and dsdv routing protocols in a wireless network" hyderabad institute of technology and management,india, mémoire magester, 2019.
- [20] N. Beijar "zone routing protocol (zrp)" networking laboratory, helsinki university of technology, 2015.
- [21] M.Bouarir, « protocole de routage intelligent pour les réseaux ad hoc de véhicules », mémoire de l'université de québec en abitibi-témiscamingue, soutenu octobre 2012.
- [22] S. Kumar et all, « qualitative based comparison of routing protocols for vanet », journal of information engineering and applications, 2011.
- [23] O. Rivaton, « le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles », mémoire de l'université laval québec, canada, 2016, 124pages.
- [24] J.D. kakarla, S. S. Sathya, a survey on routing protocols and its issues in vanet, international journal of computer applications.
- [25] M. Christian "a survey of geocast routing protocols" ieee communications surveys tutorials, 2004.
- [26] E. Moridi, h.barati "increasing efficiency and reliability in multicasting geographical routing based on fuzzy logic in vanets" babol noshirvani university of technology, babol, iran,2020.
- [27] P. Cheng, c.kevin, l.gerla, j.härri, " geodtn+nav : Geographic dtn routing with navigator prediction for urban vehicular environments ", mobile netw appl doi 10.1007/s11036-009-0181-6, 17 june 2009.
- [28] A. Ahizoune, « un protocole de diffusion des messages dans les réseaux véhiculaires » université de montréal, thèse de maîtrise des sciences (m.sc.), 2011.
- [29] J.N.Al-Karaki and A.E. Kamal, "routing technique in wireless sensor networks : A

- survey”, *ieee wireless communications* 11(6), article, 2005.
- [30] B. Karp and H.T. Kung, « gpsr : Greedy perimeter stateless routing for wireless net- works », in *proceedings of acm/ieee mobicom '00*, boston, usa,2000.
- [31] S.Hachemaoui, s.Hammouche "évaluation des performances des protocoles de rou- tage olsr, aodv et gpsr pour les vanets sous ns-3 et sumo en milieu urbain" université a/mira de béjaia, mémoire de fin de cycle, 2016.
- [32] C. Lochert, h. hartenstein, j. tian, d. herrmann, h. füßler, m. mauve, "a routing stra- tegy for vehicular ad hoc networks in city environments", *ieee intelligent vehicles symposium (iv2003)*, columbus, oh, usa, 2003.
- [33] M.Jerbi "protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en envi- ronnement urbain : Routage et geocast basés sur les intersections" université d'evry val d'essonne , thèse de doctorat, 2008.
- [34] J. Zhao and g. cao. vadd : Vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc net- works. in *proceedings of the 25th conference on computer communications (info- com06)*, article, 2006.
- [35] I.Chihi "Étude de l'attaque « black hole » sur le protocole de routage vadd (vehicule- assisted data delivery) " mémoire présenté À l'université du québec À trois- rivières,2017.
- [36] The network simulator - ns-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (consulté en juin 2023).
- [37] <https://doc.omnetpp.org/omnetpp/userguide.pdf> (consulté en juin 2023).
- [38] <https://sumo.dlr.de/docs/downloads.php> (consulté en juin 2023).
- [39] S.Hasan barasa "citywide intelligent vanets-based protocol for traffic control and management at intersections" abu dhabi university, Thèse, 2020.
- [40] <https://veins.car2x.org/download/> (consulté en juin 2023).
- [41] <https://inet.omnetpp.org/2021-10-15-inet-4.3.4-released.html> (consulté en juin 2023)

Résumé

La progression rapide des technologies sans fil au cours des dernières années a donné naissance à de nouveaux systèmes de communication tels que les réseaux véhiculaires. Ces réseaux ont pour objectif d'intégrer les technologies de l'information et de la communication dans le domaine automobile afin d'améliorer la sécurité et le confort sur les routes. La fourniture d'un accès Internet aux véhicules et à leurs occupants peut certainement contribuer à anticiper certains dangers sur la route tout en rendant les trajets plus agréables. Cependant, pour déployer ce service, il est nécessaire d'échanger des messages entre les véhicules. Le routage joue un rôle essentiel dans un réseau en déterminant la manière dont les différentes entités échangent des messages. Le routage dans les VANets représente un défi majeur en raison de leur forte mobilité, ce qui entraîne une topologie très dynamique. Ce mémoire analyse quelques protocoles de routage basé sur la position (appelés aussi protocole de routage géographique) existants dans les réseaux VANets, en mettant l'accent sur un protocole de routage VADD (Vector-based Ad-hoc Distance-Determining algorithm). L'objectif de cette analyse est la mise en œuvre et l'évaluation des performances de ce protocole.

Mots clés : VANets, VADD, protocole de routage basé sur la position, simulation.

Abstract

The rapid progression of wireless technologies in recent years has given rise to new communication systems such as vehicular networks. The aim of these networks is to integrate information and communication technologies in the automotive field in order to improve safety and comfort on the roads. The provision of Internet access to vehicles and their occupants can certainly help to anticipate certain dangers on the road while making journeys more pleasant. However, to deploy this service, it is necessary to exchange messages between vehicles. Routing plays an essential role in a network by determining the way in which the different entities exchange messages. Routing in VANETs represents a major challenge due to their high mobility, which results in a very dynamic topology. This thesis analyzes some position-based routing protocols (also called geographical routing protocol) existing in VANETs networks, with an emphasis on a Vector-based Ad-hoc Distance-Determining algorithm (VADD) routing protocol. The objective of this analysis is the implementation and evaluation of the performance of this protocol.

Key words: VANETs, VADD, position-based routing protocol, simulation.