



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Télécommunication

Réseaux et télécommunications

Réf. :

Présenté et soutenu par :

HALIS MERIEM

Le : dimanche 1 er juin 2025

CONCEPTION ET SIMULATION D'UN RESEAU VANET

Jury :

Dr. ABIDA TOUMI	Pr	Université de Biskra	Président
Dr. HAMAIZIA Zahra	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. SALIM ABDESELAM	MCB	Université de Biskra	Examinateur



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de génie électrique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies

Télécommunication

Réseaux et télécommunications

Réf. :

CONCEPTION ET SIMULATION D'UN RESEAU VANET

Le : dimanche 1er juin 2025

Réalisé par :

HALIS MERIEM

Le superviseur :

Dr. HAMAIZIA Zahra

Avis Favorable du président du jury

Dr. ABIDA TOUMI

Cachet et Signature

Remerciements

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde gratitude à dieu tout-puissant,
source de force et de persévérence.

Mes remerciements les plus sincères vont à mon encadrant,
Professeur Zahra HAMAIZIA, pour sa précieuse aide, sa disponibilité, ses
conseils avisés et son accompagnement tout au long de ce travail.

Je remercie également tous les enseignants du département pour les
connaissances qu'ils m'ont transmises tout au long de mon parcours.

Un grand merci à ma famille, en particulier ma mère, pour son amour, ses
sacrifices et son soutien inconditionnel.

Enfin, je n'oublie pas mes amis et camarades, pour leur soutien moral, leur
encouragement et les moments partagés tout au long de cette aventure
universitaire.

Dédicaces

Je dédie ce travail à la mémoire de mon cher père, dont les prières et les valeurs
continuent de me guider,

À ma mère, source inépuisable de courage et de tendresse,

À ma famille, pour leur soutien indéfectible, à mise fidèles, pour leur
encouragement,

À vous tous, je dédie ce travail avec toute ma gratitude.

الإِهْدَاء

"وَقُلْ أَعْمَلُوا فَسِيرِيَ اللَّهُ عَمْلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ وَسْتَرِدُونَ إِلَى عَالَمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبَّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُونَ" (التوبه - 105).

الحمد لله الذي بفضله تتحقق الغايات من بعد الاستعانة به و إنتهاء الدرج بتوفيقه وتحقيق الحلم بفضل، لم تكن الرحلة قصيرة ولا الطريق محفوفا بالتسهيلات، لكنني فعلتها فالحمد لله الذي يسر لنا البدايات وبلغنا النهايات بفضله وكرمه.

اهدي هذا النجاح لنفسي أولا ثم لكل من سعى معي لإتمام هذه المسيرة دمتم لي سند لا عمرا.
وبكل حب اهدي ثمرة نجاحي وتخرجي إلى من احمل اسمه بكل فخر الي من حلم بنجاحي دائما و أصبح
هوا حلما (أبي الغالي رحمه الله).

إلى من جعل الجنة تحت أقدامها، وسهلت لي شدائد بدعائها من دعمتي بلا حدود يا من اختصر الله فيها كل معاني الرحمة والحنان، كل لحظة نجاح لي هي انعكاس لتعبك أدامك فرحة في عمري (أمي العزيزة حفظها الله).

إلى إخوتي وأخوانني الأعزاء، انتم السند الداعم حفظكم الله و وفقكم .

"فَإِنْ مَعَ الْعُسْرَ يُسْرًا (5) إِنْ مَعَ الْعُسْرَ يُسْرًا (6)"

بعد كل تعب وسهر، جاء اليسر بفضل الله وبدعمكم، هذا النجاح ليس لي وحدي بل لكل من تمنى لي الخير وفرح لي بنفسي فرحتي ولكل من دعمني ، شakra من القلب وأتمنى أن أكون مصدر فخركم كما كنتم مصدر قوتي.

Résumé

À l'heure actuelle, l'industrie automobile manifeste un intérêt croissant pour les réseaux de véhicules. Pour les gestionnaires de réseaux, les institutions et les individus, ils représentent un des fondements des systèmes de transport intelligents.

L'objectif de ces systèmes est d'accroître la sécurité et l'efficience du transport sur route, de diminuer les accidents et de proposer des conditions de vie supérieures aux chauffeurs et aux voyageurs.

Pour sélectionner le protocole de routage le plus adapté aux VANETs parmi les autres protocoles Ad hoc, il est nécessaire d'implémenter chacun d'eux individuellement sur le réseau. Cependant, compte tenu du coût de mise en œuvre d'un VANET, et pour être en mesure de créer divers scénarios d'essai, la simulation s'avère indispensable avant d'appliquer concrètement ce système.

Le but de notre travail est de développer un modèle VANET qui respecte les contraintes liées à la mobilité et qui reflète fidèlement la réalité.

Pour cela, nous avons implanté un environnement adéquat pour la simulation dans les réseaux VANET en utilisant et combinant un simulateur de mobilité SUMO et un simulateur réseau NS2. Nous évaluons l'efficacité des protocoles de routage AODV, DSR et DSDV mis en œuvre sur un réseau VANET dans un cadre urbain défini, dans le but de sélectionner le protocole le plus approprié en terme des performances du taux de réception, de la perte de paquets, du délai moyen de bout en bout, de la gigue et au débit moyen.

Mots clés : Réseaux mobiles Ad Hoc MANET, Réseaux véhiculaires VANET, Protocoles de routage, AODV, DSDV, DSR, SUMO, simulation, NS2.

Abstract

The automotive industry is currently showing increasing interest in vehicle networks. For network managers, institutions and individuals, they represent one of the foundations of intelligent transport systems.

The aim of these systems is to increase the safety and efficiency of road transport, reduce incidents and provide superior living conditions for drivers and passengers.

To select the most suitable routing protocol for VANETs from the other Ad hoc protocols, it is necessary to implement each of them individually on the network. However, given the cost of implementing a VANET, and to be able to create various test scenarios, simulation is essential before applying the system in practice.

Our aim is to develop a VANET model that respects mobility constraints and faithfully reflects reality.

We have implemented a suitable environment for simulation in VANET networks, using and combining the SUMO mobility simulator, the NS2 network simulator and the AODV, DSR and DSDV routing protocols implemented on a VANET network in a defined urban setting, with the aim of selecting the most appropriate protocol in terms of packet reception rate and loss, average end-to-end delay, jitter and average throughput.

Keywords: Mobile Ad Hoc Networks MANET, Vehicular Networks VANET, Routing Protocols, AODV, DSDV, DSR, SUMO, simulation, NS2.

ملخص

تبدي صناعة السيارات حالياً اهتماماً متزايداً بشبكات المركبات. وبالنسبة لمديري الشبكات والمؤسسات والأفراد، فإنها تمثل أحد أسس أنظمة النقل الذكية. وتهدف هذه الأنظمة إلى زيادة سلامة وكفاءة النقل البري وتقليل الحوادث وتوفير ظروف معيشية أفضل للسائقين والركاب.

ولتحديد بروتوكول التوجيه الأنسب لشبكات الشبكات المحلية الافتراضية (VANETs) من بين البروتوكولات المخصصة الأخرى، من الضروري تفزيذ كل منها على الشبكة بشكل فردي. ومع ذلك، نظراً لتكلفة تنفيذ شبكة VANET، ولكي نتمكن من إنشاء سيناريوهات اختبار مختلفة، فإن المحاكاة ضرورية قبل تطبيق النظام عملياً.

يتمثل هدفنا في تطوير نموذج لشبكة VANET يحترم قيود التنقل ويعكس الواقع بأمانة. ولتحقيق هذه الغاية، قمنا بتنفيذ بيئة مناسبة لمحاكاة شبكات الشبكات المحلية الافتراضية باستخدام محاكي التنقل SUMO ومحاكي الشبكة NS2 والجمع بينهما، ونقوم بتقييم كفاءة بروتوكولات التوجيه AODV و DSDV و DSR المطبقة على شبكة الشبكة المحلية الافتراضية في بيئة حضرية محددة، بهدف اختيار البروتوكول الأنسب من حيث معدل استقبال الحزمة وفقدانها، ومتوسط التأخير من طرف إلى طرف، والاهتزاز، ومتوسط الإنتاجية.

الكلمات المفتاحية: شبكات الهاتف المحمول المخصصة MANET ، شبكات المركبات VANET ، بروتوكولات التوجيه، AODV، DSDV، SUMO، المحاكاة، NS2.

Table des matières

Résume.....	I
Abstract.....	II
ملخص	III
Introduction général.....	1
Chapitre I : Les réseaux sans fil et ad hoc.	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Réseaux sans fil.....	3
I.2.1. Définition.....	3
I.3. Classification des réseaux sans-fils.....	4
I.3.1. Classification selon la zone de couverture.....	4
Les réseaux personnels sans fil (WPAN)	4
Les réseaux locaux sans fil(WLAN)	4
Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN)	4
Les larges réseaux sans fil(WWAN)	5
I.4 Technique d'accès.....	6
I.5 Protocoles de réseau sans fil.....	6
I.5.1. Bluetooth.....	6
I.5.2. Zigbee.....	6
I.5.3. Wifi(WLAN)	7
I.5.4. LoRaWAN.....	7
I.6 Réseaux mobiles.....	8
I.6.1. Réseau mobile avec infrastructure.....	8
I.6.2. Réseau mobile sans infrastructure.....	9
I.7 Réseaux Ad hoc.....	10
I.8 Réseaux MANET.....	11
I.9 Réseaux VANET.....	12
I.9.1. Rapport entre les véhicules et leurs infrastructures.....	13
I.9.2. Le nœud du réseau VANET.....	13
I.9.3. Technologies utilisées dans la communication véhiculaire.....	14
Communication inter-véhicules.....	14
Communication entre le véhicule et le bord de la route.....	15
Communication basée sur le routage.....	16
I.9.4. Principales caractéristiques des réseaux VANET.....	17
I.9.5. Travaux dans le domaine des VANET.....	18
Sécurité.....	19
L'accès au canal.....	19
Localisation des véhicules.....	19
Problèmes de congestion.....	19

	Mobilité dans la simulation des réseaux.....	19
	Routage.....	20
I.10	Conclusion.....	20
Chapitre II : Routage dans les réseaux véhiculaires		
II.1	Introduction.....	21
II.2	Définition.....	21
	II.2.1. Le Routage.....	21
	II.2.2. Protocole.....	21
	II.2.3. Protocole de routage.....	22
II.3	Routage dans les réseaux Ad hoc.....	22
II.4	Difficulté du routage dans les réseaux ad hoc.....	23
II.5	Routage dans les MANETs.....	24
	II.5.1. Objectifs des protocoles de routage dans les MANETs.....	25
II.6	Classification des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc.....	26
	II.6.1. Classification selon l'architecture.....	26
	II.6.2. Classification selon l'approche de routage.....	27
	II.6.2.1. les protocoles proactifs.....	27
	OLSR(Optimized Link State Protocol)	28
	DSDV(Destination Sequenced Distance Vector)	28
	II.6.2.2. Les protocoles de routage réactifs.....	29
	AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)	30
	DSR(Dynamic Source Routing)	31
	II.6.2.3. Les protocoles dits hybrides.....	32
	ZRP(Zone Routing Protocol)	33
II.7	Routage dans les réseaux VANETs.....	33
II.8	Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET.....	34
	II.8.1. Protocoles de routage basés sur la topologie.....	35
	II.8.2. Protocoles de routage basés sur la géographique.....	35
II.9	Protocoles de routage VANET.....	37
	II.9.1. A-STAR(Anchor-based Street and Traffic Aware Routing)	37
	II.9.2. UMB(Urban Multi hop Broadcast Protocol)	37
	II.9.3. GPRS(Greedy Perimeter Statless Routing)	38
	II.9.4. VADD(Vehicle-Assisted Data Delivery)	38
	II.9.5. GyTAR(Greedy Traffic Aware Routing Protocol)	38
	II.9.6. MORA(Movement-based Routing Algorithm)	38
	II.9.1. MURU(A Multi-hop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks) ..	38
II.10	Conclusion.....	39

Chapitre III : Simulation et Discussion des résultats

III.1	Introduction.....	40
III.2	Processus de simulation dans les VANET.....	40
	III.2.1. Génération d'une Mappe de simulation.....	40
	III.2.2. Simulation de modèle de mobilité et la génération du trafic.....	40
	III.2.3. Simulation de modèle réseau.....	41
	III.2.4. Traitement des résultats.....	41
III.3	Outils de mise en œuvre et de simulation.....	41
	III.3.1. Environnement matériel.....	41
	III.3.2. Environnement logiciel.....	42
	III.3.2.1. Le Simulateur NS-2.....	42
	III.3.2.2. Les éléments constitutifs d'un réseau sous NS2.....	42
	Nœuds.....	42
	Liaisons de communication entre les nœuds.....	42
	Agents.....	43
	Application.....	43
	III.3.2.3. Flot de simulation.....	43
	TCL/OTCL/TK.....	43
	NAM.....	44
	Xgraph.....	44
	Fichier trace.....	44
	AWK.....	44
	III.3.4. Simulateur de trafic routier.....	45
	III.3.4.1. SUMO(Simulation of Urban Mobility)(version 1.22.0)	45
III.4	OpenStreetMap (OSM)	46
III.5	Etapes de simulation des protocoles de routage dans les VANET.....	46
	III.5.1. Génération de la carte routière.....	47
	III.5.2. Génération des fichiers traces.....	53
III.6	Calcul des valeurs des métriques.....	59
	III.6.1. Calcul du taux de livraison de paquets.....	59
	III.6.2. Calcul du délai moyen de bout en bout.....	59
	III.6.3. Calcul du taux de perte de paquet.....	60
	III.6.4. Calcul du Débit moyen.....	60
	III.6.5. Calcul de la gigue.....	60
III.7	Simulation des performances des protocoles de routage du réseau VANET.....	60
	III.7.1. Configuration des paramètres de simulation.....	61
	III.7.2. Résultats et interprétation.....	61
	III.7.2. Analyse et évaluation du Scénario n°1.....	61
	Taux de livraison de paquets.....	62
	Délai moyen.....	63

Taux de perte de paquet.....	64
La gigue.....	65
Débit moyen.....	66
III.7.2. Analyse et évaluation du Scénario n°2.....	67
Taux de livraison de paquets	67
Délai moyen	68
Taux de perte de paquet	69
La gigue	70
Débit moyen	71
III.7.2.1. Etude comparative.....	72
III.8 Conclusion.	73
Conclusion générale	74
Bibliographie.....	76

Liste des Figures

Figure I.1: Différents types de réseaux sans fil et portées typique.....	5
Figure I.2: Les modèles des réseaux mobiles.....	8
Figure I.3: Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure.....	9
Figure I.4: Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure.....	9
Figure I.5: Scénario d'utilisation d'un réseau ad-hoc.....	11
Figure I.6 : Réseau mobile.....	11
Figure I.6: hiérarchie des réseaux sans fil.....	12
Figure I.7: Architecture système dans les VANET.....	13
Figure I.8: Véhicule intelligent.....	14
Figure I.9: Inter-vehicle communication.....	15
Figure I.10: Communication entre le véhicule et la route.....	16
Figure I.11: Communication basée sur le routage.....	17
Figure II.1: Exemple d'un routage direct.....	23
Figure II.2: Un simple réseau ad hoc constitué de trois unités mobiles.....	24
Figure II.3: Illustration du routage unicast, multicast et broadcast.....	25
Figure II.4: Classification des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc.....	26
Figure II.5: Principe de fonctionnement des protocoles proactifs.....	27
Figure II.6: Sélection des MPRs dans OLSR.....	28
Figure II.7: Exemple de DSDV.....	29
Figure II.8: Fonctionnement des protocoles réactifs.....	30
Figure II.9: Fonctionnement d'AODV.....	30
Figure II.10: Exemple de fonctionnement de DSR.....	31
Figure II.11: Zone Routing Protocol.....	33
Figure II.12: Types d'acheminement des données dans les VANETs.....	34

Figure II.13: Les protocoles de routage dans les réseaux VANET.....	35
Figure III.1: Processus de simulation dans un VANET.....	41
Figure III.2: Architecture de base de NS-2.....	43
Figure III.3: Exemple d'une ligne de fichier trace ancien format.....	44
Figure III.4: Interface SUMO.....	45
Figure III.5: la ville de Biskra dans Openstreetmap.....	46
Figure III.6: zone urbaine de simulation.....	47
Figure III.7: Emplacement des fichiers.....	48
Figure III.8: Terminal d'accès et listage du répertoire typemap de SUMO.....	49
Figure III.9: Interface graphique de Simulation de trafic routier dans SUMO.....	52
Figure III.10: Visualisation de simulation avec le NAM.....	58
Figure III.11: Taux de livraison de paquets en fonction de vitesse de nœuds.....	62
Figure III.12: Délai moyen de bout-en-bout en fonction vitesse de nœuds.....	63
Figure III.13: Taux de perte de paquet en fonction vitesse de nœuds.....	64
Figure III.14: la gigue en fonction de vitesse de noeuds.....	65
Figure III.15: Le Débit moyen en fonction vitesse de nœuds.....	66
Figure III.16: Taux de livraison de paquets en fonction de nombre de nœuds.....	67
Figure III.17: Délai moyen de bout-en-bout en fonction vitesse de nœuds.....	68
Figure III.18: Taux de perte de paquet en fonction nombre de nœuds.....	69
Figure III.19: La gigue en fonction de nombre de nœuds.....	70
Figure III.20: Le Débit moyen en fonction nombre de nœuds.....	71

Liste des Tableaux

Tableau I .1: Classification des réseaux sans fil.....	5
Tableau I .2: Comparaison entre MANET et VANET.....	18
Tableau II.1: Comparaison entre protocoles proactifs et protocoles réactifs.....	32
Tableau II.2 : Différence entre les protocoles de routage les topologiques et géographiques..	36
Tableau III.1: matériel utilisé.....	42
Tableau III.2: Signification des différents champs d'un fichier trace.....	57
Tableau III.3: Paramètres de simulation.....	61
Tableau III.4: Analyse comparative des performances des protocoles de routage.....	72

Liste des Abréviations

A

- AODV: Ad hoc On Demand Distance Vector.
- A-STAR : Anchor-based Street and Traffic Aware Routing.

C

- CBR: Constant Bit Rate.

D

- DREAM: A distance routing effect algorithm for mobility.
- DSDV: Destination Sequenced Distance Vector Routing.
- DSR: Dynamic Source Routing .
- DSRC: Dedicated Short Range Communication.

G

- GSR: Global State Routing.
- GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing.
- GyTAR: Greedy Traffic Aware Routing.
- GPS: Global Position System.
- GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing.

I

- ITS: Intelligent Transportation Systems.
- ITSA: Intelligent Transportation Society of America
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

L

- LAR: Location- Aided Routing.

M

- MAC: Media access control.
- MANET: Mobile Ad hoc Networks.
- MORA: MOvement-based Routing Algorithm.
- MURU: A MUlti-hop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks.
- MPR: Multipoint Relay.

N

- NAM: Network Animator.
- NS2: Network Simulator 2.

O

- OLSR: Optimized Link Sate Routing.
- OSM: OpenStreetMap .
- OTcl: Object Tools Command Language.

R

- RERR : Route Error
- RREP : Routing Reply
- RREQ : Route Request
- RSU: Road Side Units.

S

- SB: Stations Base.
- SN: Sequence Number.
- SUMO: Simulation of Urban Mobility

U

- UM: Units Mobile. .
- UMB: Urban Multi hop Broadcast Protocol.

V

- VANET: Vehicular Ad-Hoc NETwork.
- V2V: Vehicle to Vehicle.
- V2I: Infrastructure Vehicle.

W

- WPAN: Wireless Personal Area Networks.
- WLAN: Wireless Local Area Networks.
- WMAN: Wireless Metropolitan Area Network.
- WWAN: Wireless Wide Area Networks.
- WiMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

Z

- ZRP : Zone Routing Protocol

Introduction Générale

Introduction Générale

Un réseau VANET (Vehicular Ad hoc Network) est un type de réseau sans fil appartenant à la famille des réseaux mobiles ad hoc (MANETs), spécifiquement conçu pour permettre la communication entre véhicules en mouvement ainsi qu'entre véhicules et infrastructures fixes telles que les feux de circulation, les stations de base ou les panneaux de signalisation intelligents. Ces réseaux sont au cœur des systèmes de transport intelligent (ITS), jouant un rôle clé dans l'amélioration de la sécurité routière, la gestion efficace du trafic, et l'optimisation de la consommation énergétique. Grâce aux communications véhicule-à-véhicule (V2V) et véhicule-à-infrastructure (V2I), les VANETs permettent des échanges d'informations en temps réel, réduisant ainsi les risques d'accidents, facilitant la coordination entre usagers de la route, et soutenant le développement des véhicules autonomes ainsi que des services connectés.

Pour assurer la fiabilité de ces communications dans un environnement à haute mobilité et à topologie dynamique, plusieurs protocoles de routage ont été développés. Ces protocoles, essentiels au bon fonctionnement des réseaux VANET, visent à disséminer efficacement les informations nécessaires à l'établissement et à la maintenance des routes. On distingue principalement trois grandes familles : les protocoles proactifs comme DSDV, qui conservent des tables de routage constamment mises à jour ; les protocoles réactifs tels que AODV et DSR, qui établissent les routes à la demande ; et les protocoles hybrides comme ZRP, combinant les avantages des deux approches pour s'adapter aux spécificités du réseau véhiculaire.

Afin de déterminer le protocole de routage le plus adapté aux réseaux VANETs parmi les autres protocoles Ad hoc, il est essentiel d'évaluer leurs performances dans des conditions variées. Toutefois, étant donné le coût élevé de la mise en place réelle d'un réseau VANET, la simulation devient une étape incontournable. Elle permet de créer une multitude de scénarios d'essai, d'analyser le comportement des protocoles dans un environnement contrôlé, et d'optimiser les choix avant tout déploiement réel.

La simulation VANET est divisée en deux parties. Simulation de trafic et simulation de réseau. Des simulateurs de trafic routier tels que CORSIM, SUMO, VISSIM et

VanetMobiSim ont été utilisés pour générer des trajectoires de véhicules qui sont ensuite injectées dans des simulateurs de réseau tels que NS2, ns-3, QualNet, OPNET ou GloMoSim pour mesurer les performances du réseau. Pour faciliter l'interaction entre les simulateurs de trafic et les simulateurs de réseau, des outils tels que TraNS et MOVE sont utilisés [1].

Notre objectif est de développer un modèle de mobilité VANET respectant les contraintes liées au déplacement des véhicules, tout en reflétant fidèlement la réalité. Pour ce faire, une première approche consiste à utiliser un simulateur de trafic tel que SUMO, qui offre une méthode relativement simple grâce à son interface graphique permettant de modéliser les cartes routières et le trafic sans avoir à manipuler directement les lignes de code. Les fichiers générés peuvent ensuite être injectés dans le simulateur réseau NS2, afin d'évaluer l'efficacité des protocoles de routage implémentés dans un réseau VANET en environnement urbain, dans le but d'identifier le protocole le plus adapté en se basant sur plusieurs métriques de performance.

Ce mémoire est structure en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre, nous présenterons les dernières technologies et caractéristiques des réseaux Ad Hoc. Nous discuterons également des réseaux mobiles ad hoc (MANET), des réseaux véhiculaires ad hoc (VANET) et de différents concepts liés à ces réseaux.
- Ensuite, le deuxième chapitre se concentrera spécifiquement sur les protocoles de routage pour les réseaux ad hoc tels que les MANET et les VANET. Il classera les protocoles de routage en types basés sur la topologie (réactifs, proactifs, hybrides) et basés sur la géographie/l'emplacement. Il décrira en détail les fonctionnalités et les compromis de protocoles bien connus tels que AODV, DSR, OLSR et GPSR.
- Dans le chapitre trois, nous exposerons la procédure de simulation au sein d'un réseau VANET ainsi que l'utilisation de simulateurs de mobilité et de circulation. Nous débuterons par décrire les étapes de notre démarche. Suite à cela, nous présenterons la mise en œuvre du réseau VANET à l'aide du simulateur NS2 associé au simulateur de mobilité SUMO. Pour conclure, nous interpréterons et discuterons les résultats, où nous mettrons en évidence l'influence d'une modélisation réaliste sur l'efficacité des protocoles de routage.

Enfin, nous présentons la conclusion générale qui résume ce travail. De plus, nous proposons une perspective pour les efforts futurs dans ce domaine

Chapitre I

Les Réseaux sans Fil et AD

HOC

I.1 Introduction :

Ces dernières années, les réseaux sans fil ont connu un développement spectaculaire et s'affirment maintenant de manière incontestable. Les réseaux véhiculaires (VANET), qui s'inspirent fortement des MANET (réseau mobile ad hoc), représentent une technologie de communication sans fil récente. Ils facilitent la communication entre véhicules par le biais de messages d'alerte de sécurité échangés entre eux. Ils sont conçus sur la base de l'apparition des systèmes de transport intelligents (Intelligent Transportation Systems - ITS), dont l'objectif premier est d'améliorer la sécurité sur les routes.

Effectivement, via des capteurs intégrés aux véhicules, les communications entre véhicules offrent aux conducteurs une alerte précoce en cas de dangers potentiels.

Dans cette section, nous débutons par l'explication du réseau des réseaux sans fil et de leurs Classification, la technique et protocoles avant de passer à Les réseaux mobiles qui contient deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure. Avant de passer en revue Les réseaux Ad hoc, et le MANET. Nous discuterons ensuite enfin du réseau VANET, dont nous expliquerons la relation avec l'infrastructure, la technologie utilisées dans le réseau VANET, Les principales caractéristiques des réseaux VANET et le travail dans le domaine VANET.

I.2. Les réseaux sans fil:

I.2.1 Définition :

Comme le suggère son nom, un réseau sans fil (ou Wireless network en anglais) est un type de réseau où au moins deux dispositifs peuvent établir une communication sans l'utilisation de câbles.

Les réseaux sans fil offrent à un utilisateur la possibilité de demeurer connecté tout en se déplaçant dans une zone géographique plus ou moins vaste. L'évolution continue de ces réseaux sans fil a conduit à l'élaboration de nouvelles normes pour améliorer l'interconnexion des machines [2].

I.3. Classification des réseaux sans-fil :

On trouve un grand nombre de réseaux sans fil. On peut catégoriser ces réseaux en différentes classes en fonction des critères sélectionnés.

I.3.1 Classification selon la zone de couverture :

La catégorisation des réseaux sans fil peut se faire en fonction de la portée géographique qui offre une connectivité (dite zone de couverture). On distingue ainsi quatre types : les réseaux personnels sans fil, les réseaux locaux sans fil, les réseaux métropolitains sans fil et les réseaux étendus sans fil [3].

- Les réseaux personnel's sans fil (WPAN) :**

Également connus sous le nom de réseaux domestiques, ils garantissent la connexion entre des appareils éloignés de quelques dizaines de mètres, ce sont des réseaux à courte portée. Ils sont généralement utilisés pour connecter des périphériques tels qu'un ordinateur, une imprimante, etc., ou un assistant personnel (PDA) à un ordinateur sans l'utilisation de câbles [3]. Plusieurs technologies sont utilisées pour les WPAN tel que : Bluetooth, ZigBee, HomeRF et IrDA.

- Les réseaux locaux sans fil (WLAN):**

Cela se réfère à la portée d'un réseau local mis en place au sein d'une société, d'une résidence ou encore dans des lieux publics (point d'accès). Tous les appareils (ordinateurs, PDA, etc.) présents dans la zone de portée du WLAN ont la possibilité de s'y connecter [3].

Il existe plusieurs technologies concurrentes : Wifi, HiperLan1 et HiperLan2.

- Les réseaux métropolitains sans fil (WMAN):**

Identifiés comme Boucle Locale Radio (B.L.R), ils s'appuient sur les standards IEEE 802.16. Le B.L.R propose un débit fonctionnel de 1 à 10 Mbit/s sur une distance de 4 à 10 kilomètres, ce qui le rend adapté aux fournisseurs de services télécoms. Les réseaux sans fil de type WMAN continuent de se développer ; la norme 802.16 est souvent désignée par son appellation commerciale, WiMax [3].

- **Les larges réseaux sans fil (WWAN) :**

Aussi appelé réseau cellulaire mobile, ce type de réseau sans fil est le plus courant car tous les téléphones mobiles y sont connectés. Les principales technologies sont les suivants : **GSM (Global System for Mobile communication.)**, **GPRS(General Packet Radio Service.)** et **UMTS : Universel Mobile Télécommunication System [3]**.

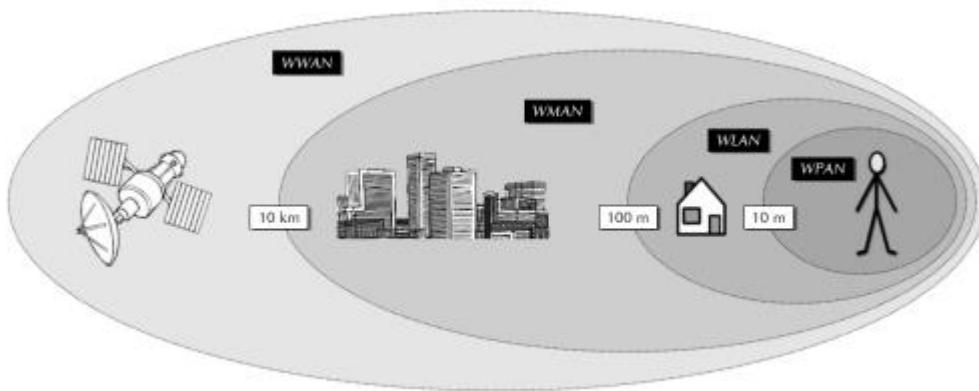


Figure I.1: Différents types de réseaux sans fil et portées typiques [4].

Le tableau suivant résume les différentes technologies utilisées dans chaque catégorie et leurs caractéristiques.

Tableau I .1: Classification des réseaux sans fil [5].

Catégorie	WPAN	WLAN	WMAN	WWAN
Standard	IEEE 802.15	IEEE 802.11	IEEE 802.16	IEEE 802.20
Technologies	Bluetooth HomeRF Zigbee IR(Infrarouge)	Wifi HyperLAN2	Wimax	GSM GPRS UMTS
Couverture	Quelques dizaines mètres	Une centaines De mètres	Quelques dizaines kilometers	Une centaines De Kilomètres
Débit	<1 Mbps	2 à 54 Mbps	Jusqu'à 70 Mbps	10 à 384 Kbps
Applications	Point à point Equipement à équipement	Réseau d'entreprise	Fixe, accès au dernier Kilomètres	GSM PDA...

I.4. Technique d'accès :

On peut catégoriser les réseaux sans fil en fonction de la norme de la couche physique, de la fréquence, de l'utilisation du spectre, et ainsi de suite. Si l'on se base sur la méthode d'accès, on distingue les réseaux suivant :

- TDMA (Accès Multiple par Division de Temps) .
- FDMA (Accès Multiple par Division de Fréquence).
- Les réseaux CDMA/WCDMA (Accès par multiplexage à répartition de code) .
- Les réseaux SDMA (Accès par multiplexage à répartition spatiale) [3].

I.5. Protocoles de réseau sans fil :

Les protocoles de réseau sans fil fournissent les règles et les normes de communication entre les appareils sur un réseau sans fil, leur permettant de se connecter et de transférer des données efficacement. Il existe plusieurs protocoles de réseau sans fil. Certains des exemples les plus courants sont :

I.5.1 Le Bluetooth :

Lancé en 1994 par Ericsson, son débit théorique est de 1Mbits/s pour une portée maximale d'environ 30 mètres. L'avantage est que cette technologie est peu gourmande en énergie, c'est pourquoi elle est adaptée pour les petits périphériques comme le téléphone portable ou encore une souris [6].

I.5.2 Zigbee :

Solution tout juste récente. C'est une version modifiée du Bluetooth qui rend possible des connexions sans fil à un coût minimal et avec une consommation d'énergie réduite. L'avenir de cette solution est assuré. La technologie sans fil a constamment été confrontée à la problématique que les dispositifs sans fil consomment énormément d'énergie. C'est la raison pour laquelle l'IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) a élaboré ZigBee. Ce dispositif facilite la communication entre machines, tout en ayant une consommation d'énergie minimale et un coût très réduit. Des fabricants tels que Motorola ou Philips l'appuient déjà. Il a une vitesse maximale de 128 Kbits/s. À la différence du Wifi ou

du LAN, ZigBee ne nécessite pas d'un système centralisé pour orchestrer le transfert des messages [6].

I.5.3 Wifi (WLAN) :

WiFi se définit comme un regroupement de protocoles de communication sans fil, soumis aux normes du groupe IEEE 802.11. Les normes WiFi permettent la création de réseaux locaux sans fil offrant un haut débit. En substance, le WiFi offre la possibilité de connecter des ordinateurs portables, des machines de bureau, des assistants numériques personnels (PDA : Personal Digital Assistant) ainsi que divers objets. Des équipements capables de se connecter à une connexion haut débit (11 Mbit/s en théorie ou 6 Mbit/s en pratique avec le 802.11b, ou 54 Mbit/s théoriquement, soit environ 25 Mbit/s dans les faits avec le 802.11a ou 802.11g) peuvent être utilisés sur une portée qui peut atteindre plusieurs dizaines de mètres à l'intérieur (couramment entre 20 et 50 mètres) [6].

I.5.5 LoRaWAN :

LoRaWAN est le protocole de couche d'accès au support (MAC) qui se superpose à la couche physique et qui définit le protocole de communication ainsi que l'architecture système pour un dispositif.

La spécification de la couche liaison LoRaWAN est identique dans toutes les régions. Toutefois, chaque région peut présenter des différences au niveau des caractéristiques de la couche physique du dispositif. Ces appareils connectés ne sont pas spécifiques à une passerelle donnée. Les consommateurs, quant à eux, peuvent se procurer n'importe quel appareil LoRaWAN certifié et être assurés qu'il effectuera des tâches essentielles telles que l'élimination de messages superflus et la préservation d'une faible consommation d'énergie [7].

I.6. Réseaux Mobiles :

Un réseau mobile est un réseau constitué d'hôtes mobiles. Ils recourent fréquemment à une communication sans fil qui autorise ses usagers à obtenir des informations indépendamment de leur emplacement physique. Aujourd'hui, les environnements mobiles constituent une option de communication économique et flexible. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure [8].

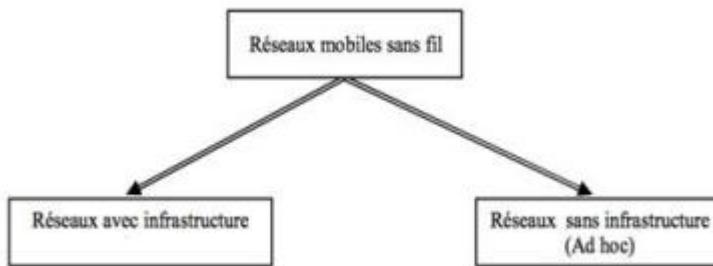


Figure I .2: Les modèles des réseaux mobiles [8].

I.6.1 Réseau mobile avec infrastructure :

Un réseau doté d'infrastructure se compose de deux groupes distincts d'entités : une multitude de dispositifs mobiles (MHs) ainsi que des stations fixes nettement moins nombreuses. Mais plus performantes que les stations d'assistance pour mobile (MSSs) ou les stations de base (BS).

Les MSSs disposent d'une interface de communication sans fil qui facilite une interaction directe avec les MHs, situés dans une zone géographique restreinte nommée « cellule ». Dans ce réseau, un MH ne peut être relié directement qu'à son MSS local à un moment donné [8].

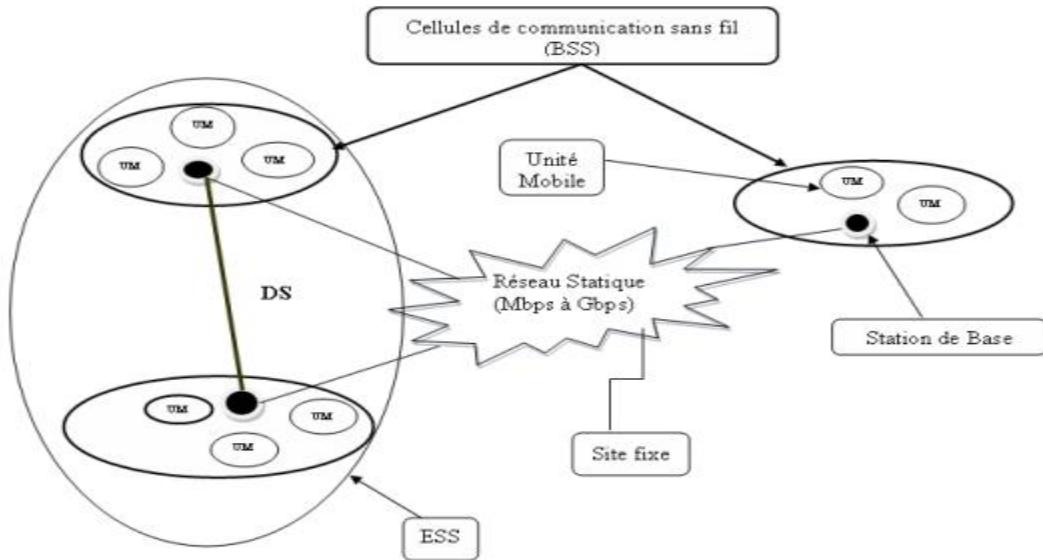


Figure I.3: Le modèle des réseaux mobiles avec infrastructure [2].

I.6.2 Réseau mobile sans infrastructure (Ad hoc) :

Le modèle de réseau sans infrastructure préexistante ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil.

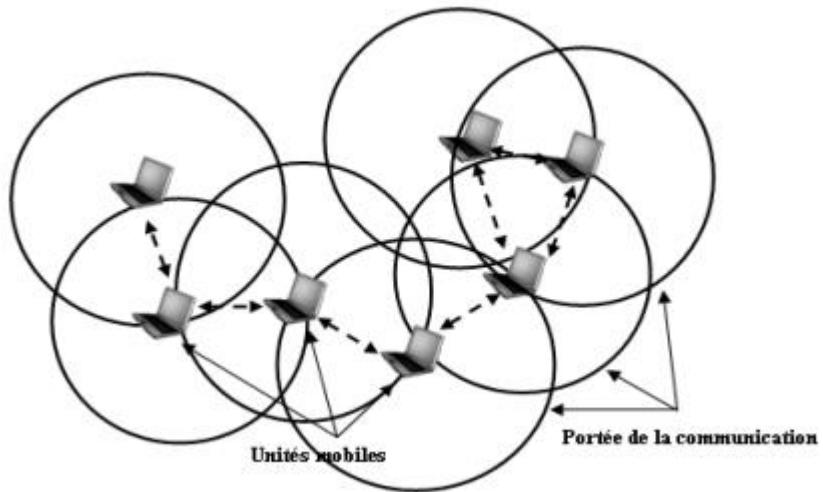


Figure I.4: Le modèle des réseaux mobiles sans infrastructure [2].

Dans un contexte ad hoc, les appareils clients sans fil se connectent mutuellement pour former un réseau pair à pair (peer to peer en anglais), ce qui signifie que chaque appareil assume simultanément le rôle de client et celui de point d'accès. L'ensemble de services de base indépendants (en anglais Independent Basic Service Set, ou IBSS) est constitué par la formation des diverses stations. Un IBSS est donc un réseau Wi-Fi formé au moins de deux stations et qui ne fait pas appel à un point d'accès. L'IBSS est donc un réseau temporaire qui permet à des individus présents dans une même pièce de partager des informations. Il est reconnu par un SSID, tout comme un ESS fonctionnant en mode infrastructure. Dans un réseau ad hoc, l'étendue du BSS autonome est définie par la portée de chaque station. Cela implique que si deux stations du réseau se trouvent hors de portée l'une de l'autre, elles ne seront pas en mesure de communiquer, même si elles détectent d'autres stations à proximité.

Effectivement, À la différence du mode infrastructure, le mode ad hoc ne dispose pas d'un mécanisme de distribution capable de transférer les paquets d'une station à une autre [2].

I.7. Réseaux Ad hoc :

L'étude des réseaux sans fil ad hoc est en cours depuis plusieurs décennies. L'origine des réseaux sans fil ad hoc remonte aux réseaux de radio par paquets (PRNet) de l'Agence des projets de recherche avancée de défense (DARPAvA), qui ont ensuite évolué vers le programme SURAD (réseaux radio adaptatifs survivables) . Les réseaux ad hoc ont eu une importance significative dans les initiatives militaires et les projets de recherche y afférents, tels que le programme GloMo (Systèmes d'Information Mobile Global) et le programme NTDR (Radio Numérique à Court Terme) . On a constaté récemment une nouvelle tendance d'applications industrielles et commerciales pour les réseaux sans fil ad hoc, à mesure que les dispositifs de communication fonctionnels et les ordinateurs portables se font plus compacts et accessibles.

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans fil qui peuvent se structurer de façon autonome et spontanée dans leur environnement de déploiement, sans infrastructure préétablie. Ils sont conçus sur demande pour répondre à un besoin précis. La responsabilité de la gestion du réseau est répartie entre toutes les entités en communication sans fil, souvent désignées sous le terme de « nœuds ».

Il est essentiel que l'établissement d'un réseau ad hoc soit aisé, permettant aux nœuds de se connecter ou de se déconnecter de façon totalement dynamique sans avoir à notifier le réseau, sans perturber les échanges des autres participants [9].

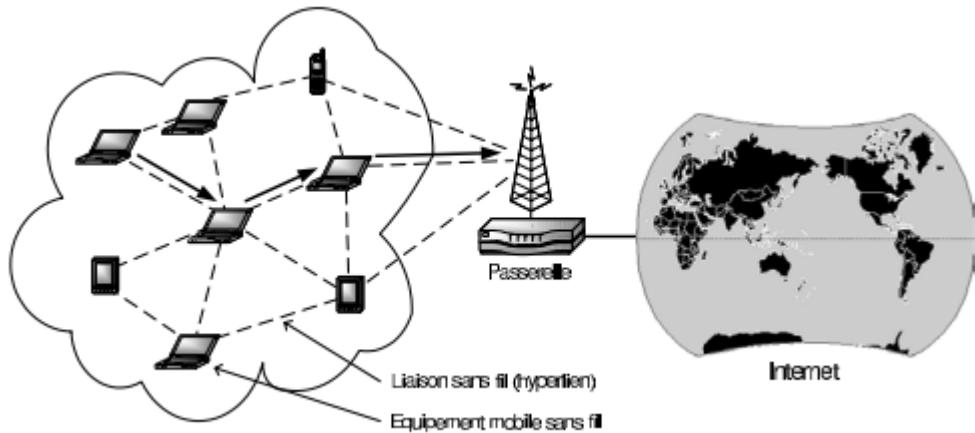


Figure I.5: Scénario d'utilisation d'un réseau ad-hoc [10].

I.8. Réseaux MANET :

Les MANETs sont des réseaux interconnectés créés par des routeurs mobiles sans fil, chaque routeur étant associé à un ou plusieurs dispositifs hôtes (par exemple, ordinateurs et capteurs). Un routeur MANET exécute des protocoles de routage qui, à l'inverse des techniques de routage traditionnelles, supportent les modifications rapides de connectivité entre les nœuds.

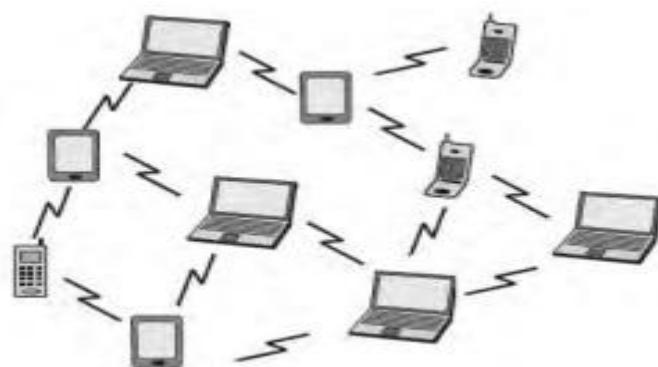


Figure I.6: Réseau mobile [11].

Les MANETs sont des systèmes non hiérarchiques, où chaque nœud (routeur mobile) joue les mêmes rôles de source, d'évier et de relais pour les données. Par conséquent, le MANET n'est pas lié à une infrastructure de communication existante ou fixe (comme c'est le cas pour un réseau téléphonique mobile). La capacité à s'auto-organiser de manière indépendante et à fonctionner comme sa propre infrastructure rend les MANETs particulièrement séduisants pour répondre aux exigences de communication industrielle dans des environnements manufacturiers difficiles [12].

I.9. Réseaux VANET :

Un réseau ad hoc véhiculaire est une catégorie spécifique de réseau mobile ad hoc (MANET) qui facilite la communication entre les véhicules à proximité et les équipements routiers .Dans ce genre de réseau, Les véhicules sont considérés comme des nœuds de communication capables d'appartenir à un réseau auto-organisé sans filtrage préalable ou connaissance mutuelle.

Les réseaux de véhicules (VANETs) gagnent en popularité de façon croissante. Initialement proposés par les systèmes de transport intelligents (ITS), les VANETs permettent de construire un Les systèmes de transport routier plus sûrs sont conçus pour améliorer la sécurité et la gestion du trafic tout en offrant confort et plaisir aux conducteurs et aux passagers sur les routes publiques [13].

La figure ci-dessous représente la hiérarchie des réseaux sans fil où elle schématise l'inclusion des réseaux véhiculaires Ad Hoc VANET dans les réseaux mobiles Ad Hoc MANET, les MANET dans les réseaux mobiles ainsi que les réseaux mobiles dans les réseaux sans fil.

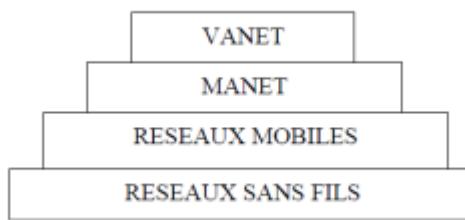


Figure I .6: Hiérarchie des réseaux sans fil [1] .

I.9.1 Rapport entre les véhicules et leurs infrastructures :

Dans un système VANET, certaines entités comme les Autorités de Transport Régional (ATR), les Autorités Réseau (AR), les Autorités d'Application de la Loi (AAL) et l'infrastructure routière incluent des RSUs frontières pour la gestion de pseudonymes, des RSUs simples et réguliers pour l'accès à Internet et les véhicules des utilisateurs.

Dans ce système, les unités de services régionaux (RSUs) offrent un accès à l'infrastructure et des services de réseau. Elles sont gérées par des prestataires de services externes. Ces derniers ont conclu des contrats commerciaux avec l'Autorité des Transports Régionaux (RTA) pour construire l'infrastructure d'accès dans la région de la RTA. Ainsi, les RSUs ne sont pas la propriété de la RTA, bien que les RSUs frontaliers soient détenus et gérés par la RTA, agissant alors en tant qu'agents délégués avec l'autorité de la RTA.

Dans le cadre des VANETs, on distingue trois formes de communication (voir Figure I.7) : Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I) et Infrastructure-to-Vehicle (I2V) [13].

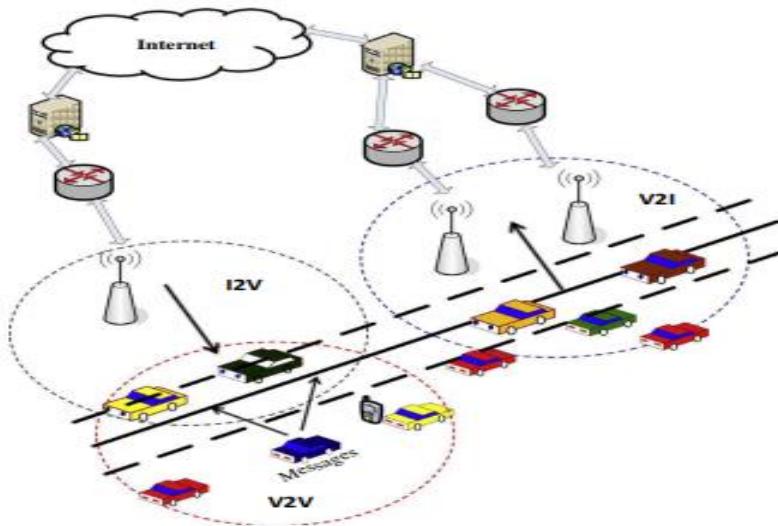


Figure I.7: Architecture système dans les VANET [13] .

I.9.2 Le nœud du réseau VANET :

Dans un réseau VANET, un nœud est défini comme étant un véhicule doté de terminaux tels que des ordinateurs, des interfaces réseau et divers capteurs, capables de recueillir et

d'analyser des informations. On évoque l'idée de « véhicule intelligent ». La figure ci-dessous modélise un véhicule intelligent [1].

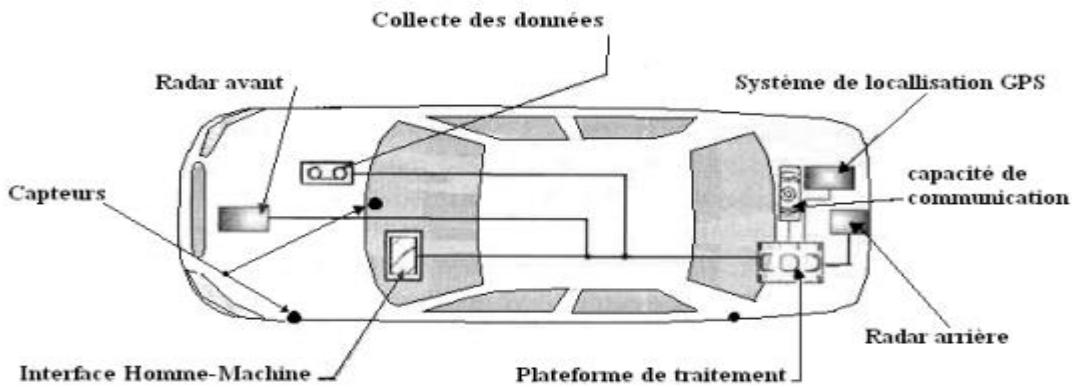


Figure I .8: Véhicule intelligent [1].

I.9.3 Technologies utilisées dans la communication véhiculaire :

Les réseaux véhiculaires par analogie à ce qui existent dans les réseaux sans fil peuvent être déployés selon trois catégories :

- **Communication inter-véhicules :**

La configuration de communication inter-véhicule (Figure I.9) utilise le multicast/broadcast multi-saut pour diffuser des informations liées au trafic sur plusieurs sauts vers un groupe de destinataires. Dans les systèmes de transport intelligents, les véhicules devraient seulement se préoccuper des activités devant eux et non derrière (un exemple serait la diffusion de messages d'urgence concernant une collision imminente ou la planification dynamique de l'itinéraire). Diffusion. Dans la diffusion naïve, les véhicules transmettent des messages de diffusion de manière périodique et à des intervalles réguliers. Dès réception du message, avertissez si celui-ci provient d'un véhicule qui vous suit. Si le message provient d'un véhicule en tête, le véhicule récepteur diffuse à son tour un message vers les véhicules situés à l'arrière. Cela garantit que tous les véhicules autorisés se déplaçant vers l'avant reçoivent tous les messages diffusés [14].



Figure I .9 : Inter-vehicle communication [14].

L'inconvénient majeur de la méthode de diffusion naïve est qu'elle génère un grand nombre de messages diffusés, augmentant ainsi le risque de collisions de messages qui entraînent une baisse des taux de livraison et une augmentation des temps de livraison. La diffusion intelligente avec accusé de réception implicite répond aux problèmes inhérents à la diffusion naïve en restreignant le nombre de messages diffusés pour un événement d'urgence donné.

Si le véhicule de détection d'événements reçoit le même message en provenance de l'arrière, il présume qu'au moins un véhicule derrière lui l'a reçu et cesse donc la diffusion. On suppose que le véhicule à l'arrière aura la tâche de transmettre le message aux autres véhicules. Si un véhicule reçoit plusieurs messages de différentes sources, il ne réagira qu'au premier message [14].

- **Communication entre le véhicule et le bord de la route :**

La configuration de communication véhicule-à-routier (Figure I.10) illustre une diffusion en un seul saut où l'unité routière transmet un message diffusé à tous les véhicules équipés à proximité. La configuration de communication véhicule-routière offre une liaison à large bande entre les véhicules et les unités routières.

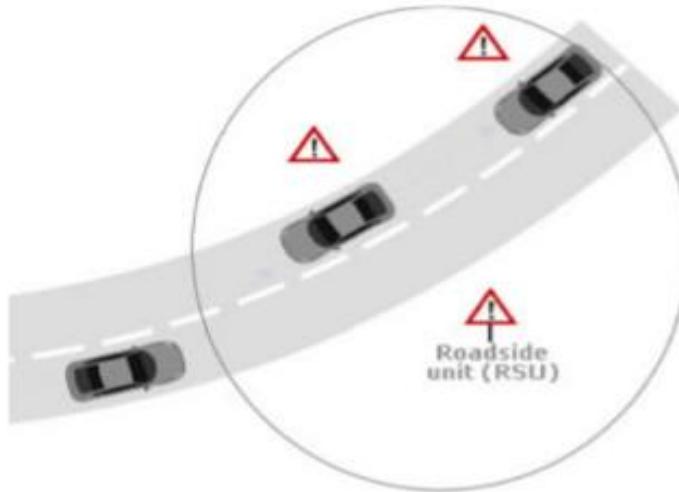


Figure I.10: Communication entre le véhicule et la route [14].

Les unités de bord de route peuvent être installées tous les kilomètres ou moins, ce qui permet de conserver des débits de données élevés même en cas de circulation dense. Selon son calendrier interne et les conditions de circulation. L'unité de bord de route diffusera régulièrement un message indiquant la limite de vitesse et comparera toute restriction géographique ou directionnelle avec les données des véhicules afin de déterminer si une alerte de vitesse s'applique à l'un des véhicules à proximité. Si un véhicule dépasse la limite de vitesse souhaitée, une alerte sera transmise au véhicule sous forme d'avertissement sonore ou visuel, demandant au conducteur de ralentir [14].

- **Communication basée sur le routage :**

Configuration de communication basée sur le routage (Figure I.11) Unicast à plusieurs sauts où un message est transmis de manière multi-saut jusqu'à ce que le véhicule portant les données souhaitées soit atteint.

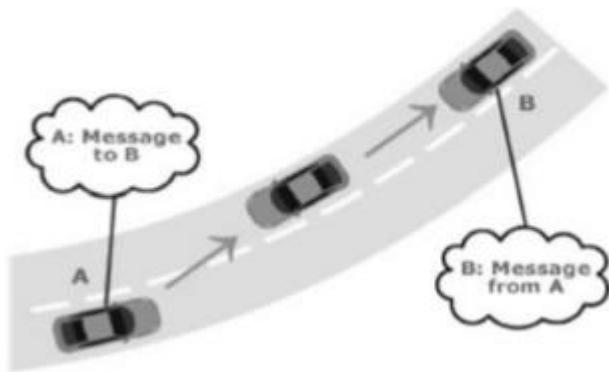


Figure I.11 : Communication basée sur le routage [14].

Lorsqu'une demande est reçue par un véhicule détenant l'information recherchée, l'application sur ce véhicule envoie immédiatement un message unicast contenant l'information au véhicule d'où provient la requête. Ce dernier est alors chargé de transmettre cette information vers la source de la requête [14].

I.9.4 Principales caractéristiques des réseaux VANET :

Dans un réseau MANET, l'établissement d'une communication repose simplement sur le principe de routage sans infrastructure fixe, en se servant des unités conventionnelles comme les ordinateurs portables. Toutefois, comme l'indique le tableau 1, les réseaux V MANET peuvent présenter un comportement différent des MANET. Ils se distinguent par une topologie hautement dynamique (à tout moment, une entité peut intégrer ou quitter le réseau) .

Une mobilité importante due aux infrastructures routières ou à celle qui est directement liée au comportement des conducteurs et à leurs réactions dans diverses situations. Par exemple, les heures de bouchons, les collisions, etc. l'absence de restriction énergétique (les entités du réseau VANET disposent d'une énergie suffisante pour faire fonctionner les divers équipements électroniques, étant donné que ces derniers sont alimentés par l'énergie des véhicules),et la disponibilité d'informations géographiques précises (comme les cartes routières).

En nous référant aux caractéristiques mentionnées précédemment, nous pouvons observer que les réseaux VANET ne possèdent pas les mêmes traits distinctifs que les réseaux

MANET. Il est donc nécessaire de considérer les requis et les spécificités de ce réseau avant d'appliquer les méthodes élaborées pour un réseau MANET [15].

Tableau I .2: Comparaison entre MANET et VANET [15] .

	MANET	VANET
Nombre de nœuds	Habituellement de 100 à 1000	Sans limites, peut-être égal à des millions de véhicules
Mobilité	Faible ou moyenne (vitesse de marche)	Haute (jusqu'à 200 km/h)
Trajectoire de nœuds	Aléatoire	Déterministe (réseau Routier)
Distribution de nœuds	Aléatoire et régulière	Peu dense et irrégulière
Fiabilité	Moyenne	Très élevé
La durée de vie des nœuds (énergie)	Limitée par la vie des batteries dans les nœuds	Illimitée (vie du véhicule)

I.9.5 Travaux dans le domaine des VANET :

Les propriétés des réseaux véhiculaires offrent des challenges importants. Les VANET s'ouvrent à plusieurs domaines de recherche dont nous citons les plus importants :

- **Sécurité :**

La sécurité représente un enjeu crucial ayant une forte incidence sur le déploiement futur des réseaux de véhicules et leurs différentes applications. Étant donné la délicatesse des domaines d'application des VANET, une intrusion d'un véhicule malveillant pourrait entraîner des répercussions sévères sur tous les véhicules connectés entre eux. C'est pour cette raison qu'un grand nombre de recherches ont été menées afin d'élaborer un système de sécurité établissant des relations de confiance entre les nœuds communicants et assurant le contrôle d'accès aux services [1].

- **L'accès au canal :**

Des communications radio sont employées par les réseaux véhiculaires. Il est donc essentiel d'élaborer des solutions sur mesure pour les réseaux VANET, qui garantissent un haut niveau de service et assurent la gestion des priorités en résolvant les problèmes d'interférences radio, de propagation multi-trajets des ondes et d'irrégularités électromagnétiques [1].

- **Localisation des véhicules :**

Dans l'éventualité où un véhicule du réseau doit être localisé, par exemple suite à un accident, il est impératif que les autres soient mis au courant de sa position. L'ennui, c'est que tous les véhicules ne disposent pas d'un dispositif de localisation par satellite (GPS). C'est pourquoi il est indispensable d'avoir un système de positionnement qui ne repose pas sur le GPS [1].

- **Problèmes de congestion :**

Un des défis posés par les VANET est que chaque véhicule entretient une communication avec tous les autres situés dans sa zone de portée. L'augmentation du nombre de véhicules provoque une détérioration de la qualité de service (QoS). Plusieurs recherches ont été consacrées à ce problème [1].

- **Mobilité dans la simulation des réseaux :**

Dans les simulations de VANET, l'élément mobilité a été largement sous-estimé. Nous n'avons pas pris en compte la distinction entre les déplacements des nœuds dans les VANET et ceux dans les MANET, ce qui pourrait influencer les résultats de la simulation. C'est pourquoi un nombre croissant d'équipes de recherche se penchent sur l'analyse de la mobilité au sein des VANET. Avec un simulateur de qualité, plus le modèle de mobilité est fidèle à la réalité, plus les résultats obtenus par la simulation reflètent fidèlement la réalité. C'est pourquoi les modèles de mobilité ont un impact direct sur le succès d'une simulation [1].

- **Routage :**

Le routage dans les systèmes de transport interconnectés (VANET) représente un défi considérable et constitue un domaine d'étude pour de nombreux chercheurs. Pour permettre la communication entre les véhicules, un protocole de routage doit être mis en place. En effet, lorsque les dispositifs ne sont pas à portée de transmission radio directe, le routage est nécessaire pour établir la connexion entre les véhicules [1].

I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les réseaux sans fil, les réseaux mobiles Ad Hoc ainsi que les réseaux véhiculaires Ad Hoc VANET qui ne sont qu'une particularité des réseaux MANET.

Dans le prochain chapitre nous traiterons le routage dans les réseaux mobiles Ad hoc. Nous nous intéresserons à la problématique du routage et les contraintes liées aux réseaux Ad Hoc. Nous décrirons également les principaux protocoles et leurs classifications.

Chapitre II

Routage dans les réseaux véhiculaires

II.1 Introduction :

Les réseaux Ad hoc se distinguent par le manque d'infrastructure fixe, ce qui pousse ces réseaux à gérer leur propre organisation pour transmettre les données entre les entités mobiles. Cette transmission nécessite l'emploi de protocoles spécifiques de communication ou de routage. Ces procédures ont pour but de choisir l'itinéraire optimal pour transmettre les paquets de la source à la destination. Il est ardu de gérer un flux de données dans un environnement véhiculaire sans fil, dépourvu d'infrastructure (surtout en matière de communication V2V), et caractérisé par une mobilité élevée « une topologie très dynamique ». En effet, le routage est perçu comme l'un des défis complexes dans les réseaux véhiculaires ad hoc.

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.2. Définitions :

Nous proposons un aperçu des éléments fondamentaux :

II.2.1 Routage :

Le routage est une technique utilisée pour diriger les informations vers leur destination appropriée via un réseau d'interconnexion spécifique. L'objectif est de proposer une stratégie qui garantit, à tout instant, un acheminement correct et efficient entre chaque paire de nœuds du réseau. Cela assure une communication constante par le biais de messages [16].

II.2.2 Protocoles :

Un protocole est une procédure normalisée qui facilite la communication entre processus (qui peuvent être exécutés sur différentes machines), à savoir un ensemble de normes et de démarches à suivre pour transmettre et recevoir des données sur un réseau. Plusieurs types existent en fonction de ce que l'on attend de la communication [17].

II.2.3 Protocole de Routage :

Le protocole de routage est un logiciel qui a pour fonction de définir le chemin le plus efficace pour la transmission des informations entre deux nœuds. Le routage dans les réseaux ad hoc mobile diffère du routage conventionnel employé dans les réseaux à infrastructure. Cela dépend de plusieurs éléments, y compris la mobilité, la topologie et le mode de sélection de l'itinéraire. On note que les protocoles de routage dans les réseaux mobiles ad hoc peuvent être divisés en trois catégories principales, en fonction de la façon dont les routes sont créées et maintenues lors du transfert des données [17].

II.3. Routage dans les réseaux Ad hoc :

Le routage constitue un aspect essentiel d'un réseau Ad hoc. Chaque segment du réseau nécessite un logiciel de routage pour gérer l'acheminement des paquets. L'option la plus aisée serait manifestement de disposer d'un routage direct similaire à celui représenté dans l'image ci-dessous, où chaque station du réseau est en mesure de communiquer directement avec une autre, sans nécessité de recourir à un intermédiaire. Ce scénario le plus facile se rapporte à une petite cellule, dont le diamètre est inférieur à 100 mètres, similaire à ce qui se passe dans un réseau IEEE 802.11 en mode Ad hoc.

Dans un réseau Ad hoc, le routage classique implique de passer par des nœuds intermédiaires. Ces derniers doivent avoir une table de routage capable de diriger le paquet vers son destinataire. L'approche stratégique d'un réseau Ad hoc repose sur l'optimisation des tables de routage à travers des mises à jour périodiques plus ou moins fréquentes. Si les mises à jour sont trop fréquentes, cela pourrait causer une surcharge du réseau. Néanmoins, cette approche a l'avantage de maintenir des tables à jour, facilitant ainsi un routage rapide des paquets. Une actualisation uniquement lors de l'apparition d'un nouveau flux allège la charge sur le réseau tout en déchargeant le réseau d'un grand nombre de flux de supervision. Dans ce cas, il est nécessaire d'établir des tables de routage capables d'assurer un acheminement dans des délais raisonnables [18].



Figure II.1: Exemple d'un routage direct [18] .

II.4. Difficulté du routage dans les Réseaux AD HOC :

Comme nous l'avons précédemment observé, la structure d'un réseau mobile ad hoc se distingue par le manque d'infrastructure fixe existante, contrairement aux réseaux de communication traditionnels (filaires ou cellulaires). Un réseau ad hoc doit se structurer de manière autonome pour être déployé rapidement et s'ajuster aux conditions de propagation, au flux de données et aux divers déplacements susceptibles de se produire dans les unités mobiles.

Pour garantir la connectivité du réseau, malgré l'absence d'infrastructure stable et le mouvement des stations, chaque point du réseau peut être appelé à contribuer au routage et à la transmission des paquets lorsque celui-ci ne parvient pas à atteindre sa destination. Ainsi, chaque point fonctionne à la fois comme station et comme routeur. Chaque nœud s'engage donc dans un protocole de routage qui lui donne la possibilité d'explorer les voies existantes pour rejoindre les autres nœuds du réseau. L'immensité potentielle d'un réseau ad hoc met en évidence que la gestion du routage dans cet environnement nécessite une approche totalement différente de celle utilisée dans le routage traditionnel. Dans le contexte des réseaux ad hoc, la question qui se pose est celle de l'ajustement de la technique de routage employée face à l'importante quantité d'unités présentes dans un environnement marqué par des capacités limitées en matière de calcul, d'énergie et de stockage. Et d'une topologie en constante évolution.

Si le nœud de destination est à portée de communication du nœud source, le routage se fait naturellement sans la nécessité d'activer un protocole de routage. Malheureusement, ce scénario est couramment inhabituel dans les réseaux ad hoc. Il se peut qu'une station source

doive transmettre des informations à une autre station qui est hors de sa portée de communication. Par exemple, dans le réseau dépeint à la figure .1, l'unité mobile W n'est pas accessible par l'unité U (signalée par le cercle de départ U) et inversement. Si l'unité U souhaite transférer des paquets vers W, elle est obligée de faire appel aux services de l'unité V pour la transmission. En effet, le champ de communication de l'unité V englobe les unités U et W. Le problème de routage est plus complexe en raison de l'irrégularité de la transmission sans fil, du mouvement imprévisible potentiel de tous les nœuds impliqués dans le processus de routage, ainsi que des ressources énergétiques limitées [19].

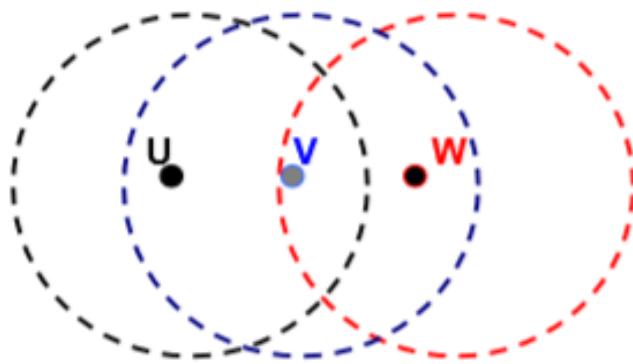


Figure II .2: Un simple réseau ad hoc constitué de trois unités mobiles [19].

II.5. Routage dans les MANETs :

Le routage consiste à diriger les flux de données des nœuds sources vers les nœuds cibles. Si la communication n'implique qu'une seule destination, on parle alors de « routage unicast ». Si tous les nœuds du réseau ou simplement un sous-ensemble est concerné par la réception des données, on fait référence au « broadcast » et au « routage multicast », respectivement.

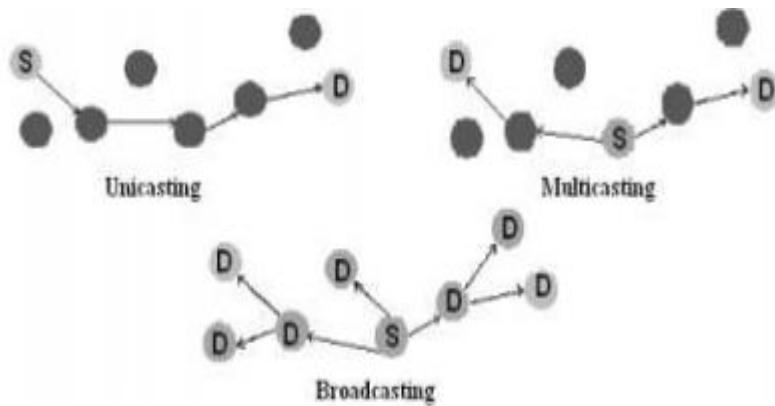


Figure II.3: Illustration du routage unicast, multicast et broadcast [20] .

L'objectif primordial des protocoles de routage est de créer et d'entretenir les itinéraires, afin d'assurer une transmission correcte des données au sein du réseau. L'élaboration de protocoles de routage pour les MANETS est loin d'être une tâche facile. Pour réaliser un routage de données fiable et performant, il est indispensable de recourir à de nouvelles méthodes de routage.

L'instabilité du canal de communication sans fil, les contraintes en termes d'énergie et de bande passante, ainsi que la nature mobile des nœuds rendent plus ardue et complexe la conception des protocoles de routage pour les MANETS. Dans la prochaine section, nous détaillerons les caractéristiques nécessaires pour les protocoles de routage dans les MANETS [20].

II.5.1 Objectifs des protocoles de routage dans les MANETs :

Le but premier d'un protocole de routage est de déterminer et préserver la route multi-sauts idéale pour toute communication. L'interprétation du terme idéal dépend du type de réseau, de la nature de l'application, En fonction de la nature des informations échangées et des utilisateurs concernés, on peut distinguer plusieurs perspectives.

- Route optimale utilisant le moins de ressources possibles (bande passante, mémoire, processeur, énergie).
- Trajet optimal qui emploie le moins de sauts possible.
- Route optimale qui représente le trajet le plus court en termes de distance.

- La voie optimale qui est aussi la plus sûre.
- Itinéraire optimal garantissant la meilleure qualité de service... etc.

Les objectifs peuvent être réalisés grâce aux éléments suivants :

- Éviter les cycles de routage.
- Diminuer la quantité et la taille des messages de contrôle.
- Assurer la gestion dynamique de la topologie.
- Diminuer et simplifier les processus [21].

II.6. Classification des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc :

Selon divers critères, les protocoles de routage conçus pour les réseaux mobiles Ad Hoc peuvent être répartis en différentes catégories. Nous allons citer, selon leur architecture (uniforme ou non uniforme), leur approche de routage (protocole proactif, réactif ou hybride).

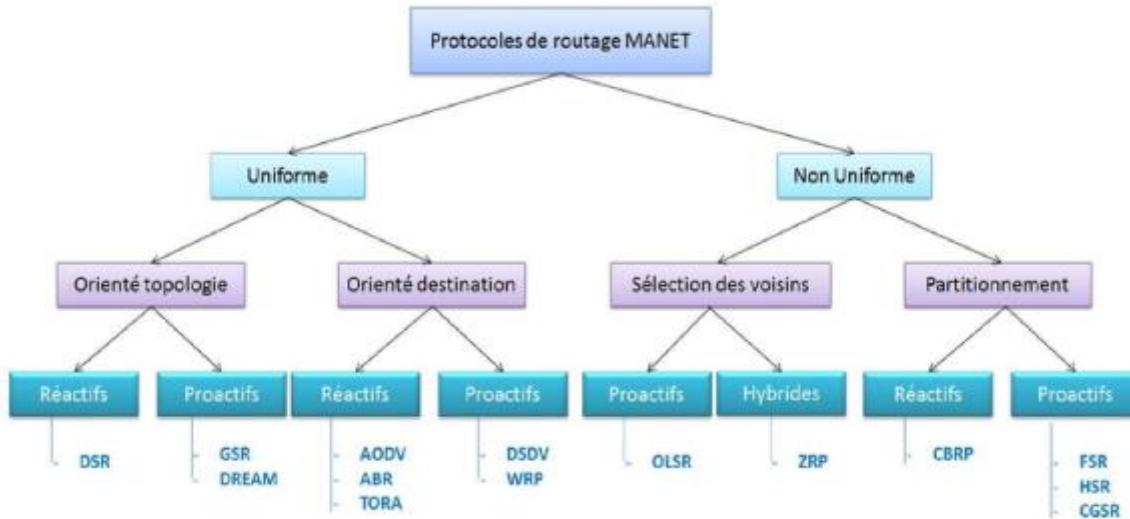


Figure II.4: Classification des protocoles de routage dans les réseaux mobiles Ad Hoc [22].

II.6.1 Classification selon l'architecture :

Certains protocoles de routage ne font pas appel à tous les nœuds d'un réseau pour acheminer les messages, au contraire, ils en choisissent certains, selon le voisinage ou pour constituer des cellules. On qualifie **ces protocoles de non-uniformes**. On appelle **les protocoles uniformes** ceux qui exploitent tous les nœuds du réseau aptes à router [23].

II.6.2 Classification selon l'approche de routage :

Selon cette classification qui repose sur le procédé de création de la voie, trois catégories se distinguent :

II.6.2.1 Les protocoles proactifs :

Un protocole proactif est celui qui établit les tables de routage avant que la requête ne soit effectuée. En réalité, il détermine la topologie du réseau à chaque moment [24].

Ils adoptent le concept du routage dans les réseaux câblés. Ils sont fondés sur la présence de tables de routage à chaque nœud. Quand un nœud du réseau désire transmettre un message, il se réfère à sa table de routage pour déterminer le chemin à emprunter jusqu'à l'interlocuteur du message. L'avantage majeur de ces protocoles est leur capacité à réagir rapidement. Effectivement, à tout instant, chaque composant du réseau dispose d'un moyen pour se connecter aux autres membres du réseau. Cependant, il est indispensable de mettre constamment à jour les tables de routage afin de prendre en compte la mobilité des nœuds. Cela provoque la propagation de multiples messages de vérification qui génèrent du trafic sur le réseau, diminuant par conséquent la capacité de transmission des données. Par ailleurs, cette diffusion constante de messages entraîne une plus grande consommation d'énergie au niveau des nœuds du réseau.

Les protocoles proactifs se distinguent essentiellement par leur méthode de mise à jour. Le OLSR (Optimized Link State Protocol) et le DSDV_(Destination Sequenced Distance Vector) est un cas d'usage illustrant ce type de protocole pour la routage proactif [25].

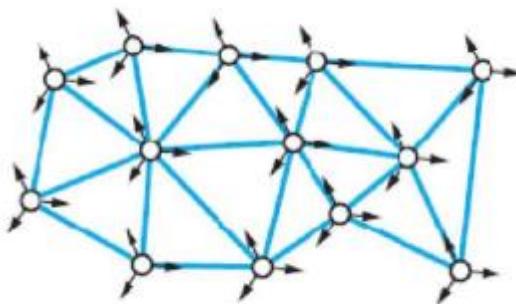


Figure II.5: Principe de fonctionnement des protocoles proactifs [22].

- **OLSR (Optimized Link State Protocol) :**

OLSR a été conçu spécifiquement pour les réseaux mobiles ad hoc. Il opère en tant que protocole proactif guidé par table, ce qui signifie qu'il partage fréquemment des données de topologie avec d'autres nœuds du réseau. Chaque nœud choisit un groupe de ses nœuds adjacents comme « relais multipoints » (MPR). Dans OLSR, c'est uniquement les nœuds sélectionnés en tant que MPR qui ont la charge de transmettre le trafic de contrôle prévu pour être diffusé à travers tout le réseau. Les MPR offrent une méthode efficace pour gérer le trafic en diminuant le volume des transmissions nécessaires.

L'OLSR est plus efficace dans les milieux urbains, cependant il doit constamment gérer et superviser l'examen des tables de routage (y compris des informations périphériques qui risquent de ne pas être exploitées), c'est là le principal défaut des protocoles proactifs [26].

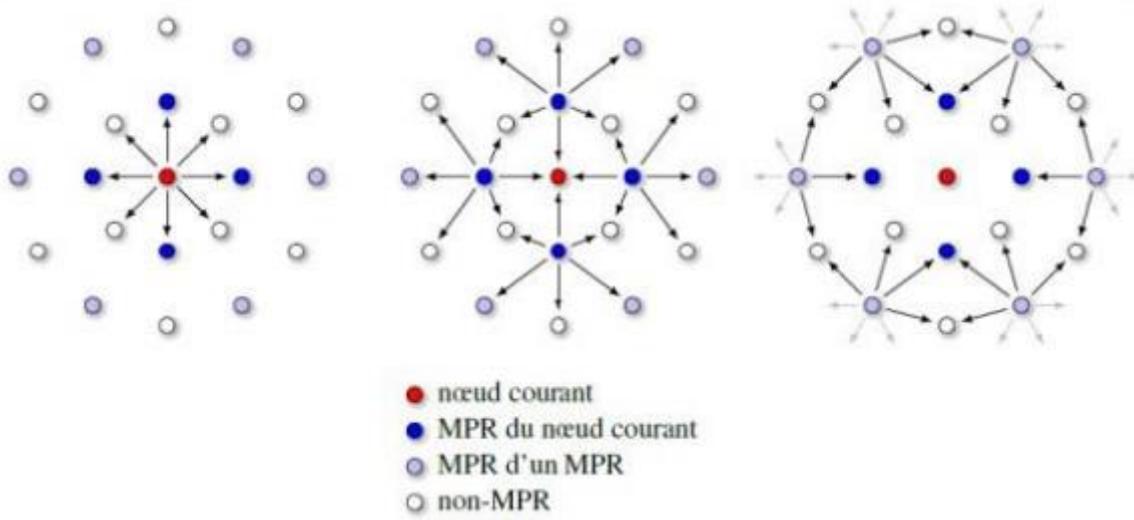


Figure II.6: Sélection des MPRs dans OLSR [27].

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

DSDV fait partie des algorithmes de routage basés sur une topologie unicast et gérés par table. Dans DSDV, chaque nœud s'efforce de garder une table de routage pour atteindre tout autre nœud destinataire. Pour assurer la cohérence du tableau de routage dans une topologie en constante évolution, chaque nœud du réseau communique régulièrement son tableau de routage à ses voisins directs. Le nœud peut également transmettre sa table de routage si le

contenu de celle-ci subit des modifications importantes par rapport au dernier contenu envoyé. Le protocole DSDV vise à réduire le trafic généré par toutes ces mises à jour [28].

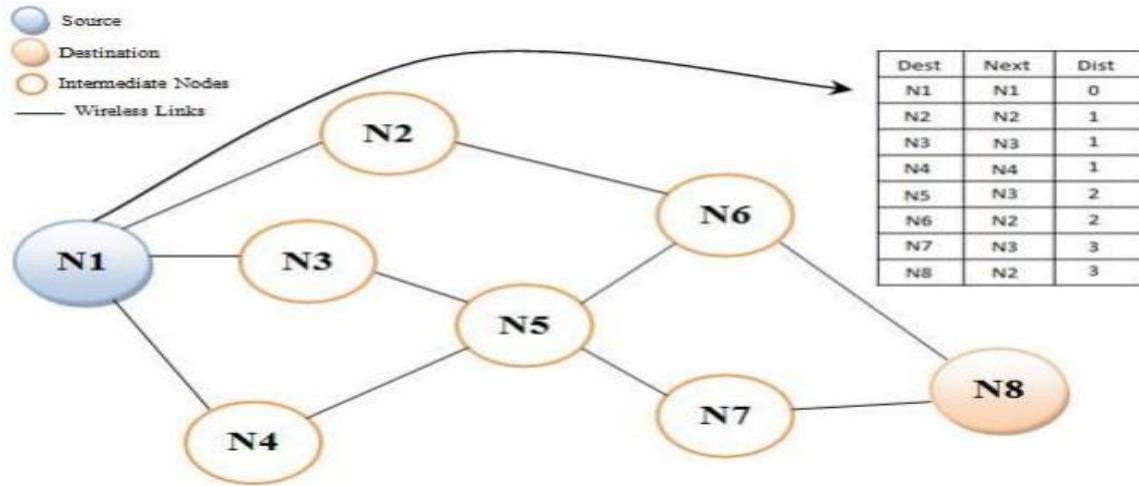


Figure II.7: Exemple de DSDV [27].

II.6.2.2 Protocoles de routage réactifs :

Ils ne conservent pas constamment des tables de routage pour la totalité du réseau. Quand un nœud doit transmettre un message à un autre composant du réseau, il débute par l'établissement d'un itinéraire pour parvenir au destinataire du message. Ce chemin est utilisé pour transmettre les données et reste stocké dans une table au niveau du nœud. Les nœuds du réseau possèdent donc une perspective limitée du réseau et ne sont familiers qu'aux composants du réseau avec lesquels ils interagissent régulièrement.

Étant donné que les trajets sont définis à la demande, ce fonctionnement permet de minimiser le nombre de messages de contrôle. Toutefois, cela entraîne des délais lorsqu'un nœud tente d'envoyer un message pour la première fois vers un autre nœud ou si le chemin enregistré n'est plus valide .On donne comme illustration les protocoles AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) et DSR (Dynamic Source Routing) réactifs [25].

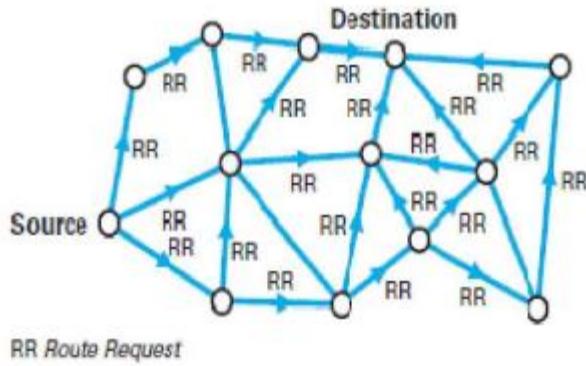


Figure II.8: Fonctionnement des protocoles réactifs [22].

- **AODV (Ad hoc On-Demand Distance Vector) :**

L'AODV est un protocole de routage réactif, c'est-à-dire que le chemin vers la destination n'est établi que si nécessaire. Il est spécialement conçu pour les réseaux ad hoc et l'AODV gère toutes les routes via une table de routage. De plus, il est capable de prendre en charge le unicast, le broadcast et le multicast sans avoir besoin d'un autre protocole.

Le point faible d'AODV réside dans la phase de recherche où il inonde le réseau de requêtes telles que (la route de découverte RREQ). Cette inondation entraîne une surcharge du réseau qui pourrait réduire les performances du protocole avec un taux de perte de paquets très élevé [26].

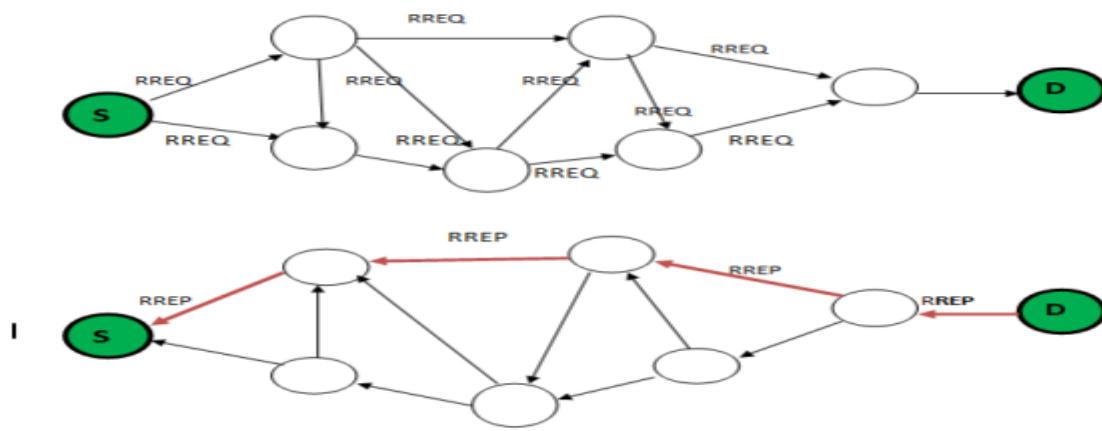


Figure II.9: Fonctionnement d'AODV [27].

- **DSR (Dynamic Source Routing) :**

Le DSR est un protocole de routage unicast à la demande. C'est aussi un routage source où les itinéraires sont générés uniquement lorsqu'ils sont requis. Les paquets de réponse de chemin dans le routage transportent l'adresse de chaque nœud le long du parcours. Grâce au DSR, si une liaison se rompt dans le trajet actuel, un itinéraire de substitution peut être employé.

Cela présente un avantage par rapport à AODV en cas de faible mobilité, car l'itinéraire alternatif peut être tenté avant que le DSR n'entame un autre déluge pour l'exploration de la route. Contrairement à AODV, les paquets de réponse de routage dans DSR contiennent toutes les informations de routage [28].

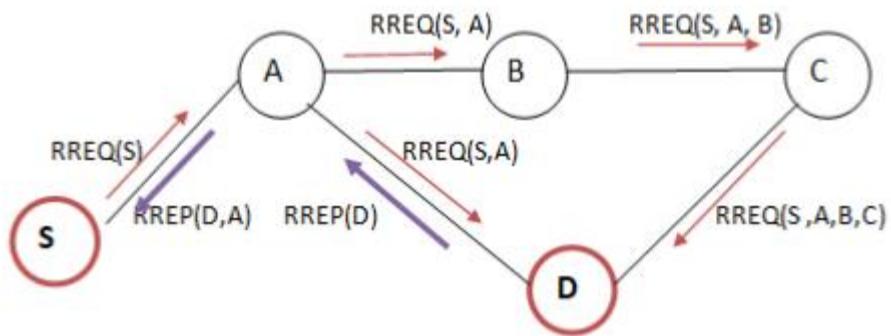


Figure II.10: Exemple de fonctionnement de DSR [27]

Tableau II.1: Comparaison entre protocoles proactifs et protocoles réactifs [29].

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

II.6.2.3 Protocoles dits hybrides :

Dans ce genre de protocole, il est possible de maintenir une connaissance locale de la topologie jusqu'à un certain point (un nombre prédefini de sauts) grâce à un échange périodique de trame de contrôle, en d'autres termes, par une méthode proactive. Les chemins vers des nœuds plus éloignés sont déterminés par une méthode réactive, c'est-à-dire en utilisant des paquets de requête en diffusion. Avec ce système, nous avons un accès immédiat aux itinéraires à proximité, et lorsque l'on doit élargir la recherche, celle-ci est optimisée [24]. Pour illustrer Le Protocole de Routage ZRP (également connu sous le nom de Zone Routing Protocol) vise à combiner les atouts des stratégies proactives et réactives.

- **ZRP (Zone Routing Protocol) :**

ZRP est un protocole de routage hybride (proactif et réactif). ZRP répartit son réseau en diverses zones. Il s'agit du voisinage local du nœud. Chaque nœud peut se situer dans plusieurs zones qui se superposent, et chaque zone peut avoir une taille différente. La taille d'une zone n'est pas définie par des mesures géographiques. La zone est déterminée par un rayon de longueur, où le nombre de sauts correspond au périmètre de la zone. Chaque nœud dispose de sa propre zone. L'inconvénient est la faible latence pour découvrir de nouveaux itinéraires [26].

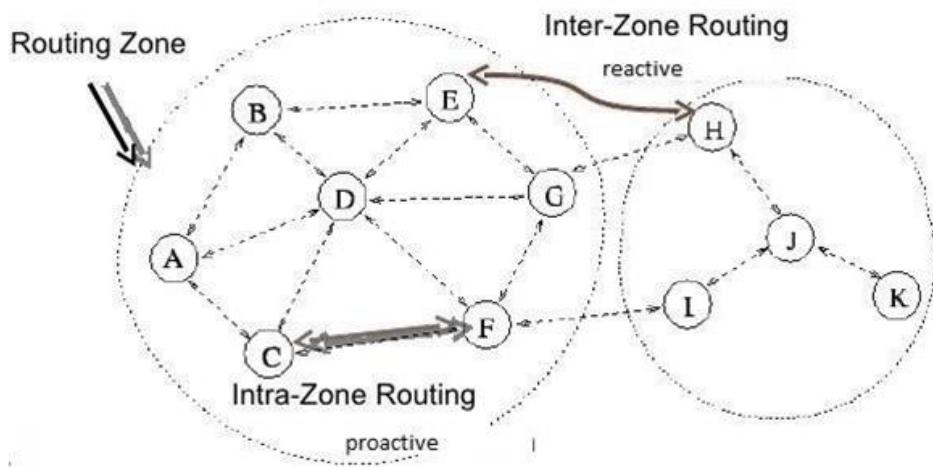


Figure II.11: Zone Routing Protocol [30].

II.7. Routage dans les réseaux VANETs :

Le routage vise à transmettre une information d'une source vers une destination (routage unicast) (voir la figure.12.a), ou vers plusieurs destinations (routage broadcast) (voir la figure.12.b), en garantissant un faible délai de transmission, une fiabilité élevée et une optimisation des ressources. Toutefois, la diffusion engendre un problème connu sous le nom de « problème de tempête de diffusion ». Ce phénomène résulte de la rediffusion répétée de messages superflus qui entraînent une utilisation excessive de la bande passante, étant donné que chaque nœud reçoit plusieurs fois la même information par le biais du canal sans fil. Par ailleurs, dans le contexte des réseaux Ad Hoc denses, la rediffusion systématique par chaque

nœud génère un grand nombre de collisions qui ne sont pas rectifiées par la couche MAC (absence d'ACK lors de la diffusion). Cela diminue par conséquent l'efficacité et la fiabilité de la diffusion. Pour prévenir ce phénomène, l'approche fréquemment adoptée est la géo diffusion (geocast).

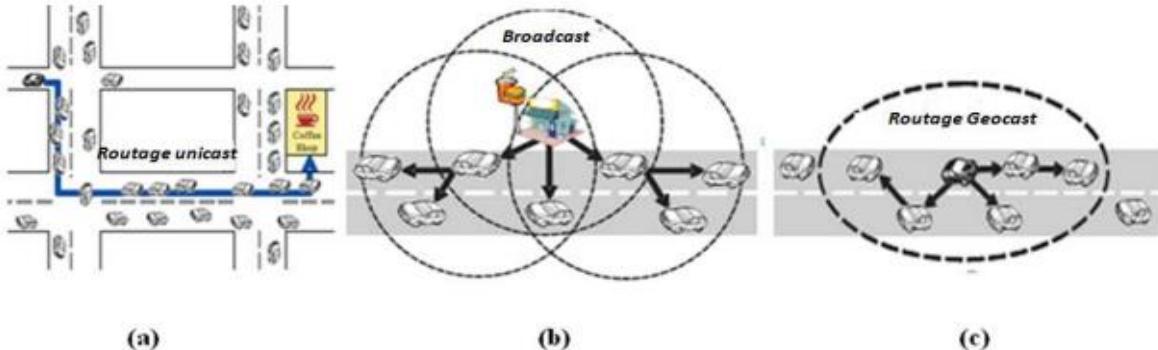


Figure II.12: Types d'acheminement des données dans les VANETs [31].

Le géocast est une méthode d'acheminement des paquets qui s'appuie sur des communications multi-saut pour diffuser des données à tous les nœuds localisés dans une région géographique spécifique [31].

II.8. Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET :

Généralement, les protocoles de routage peuvent être classés en deux grandes familles :

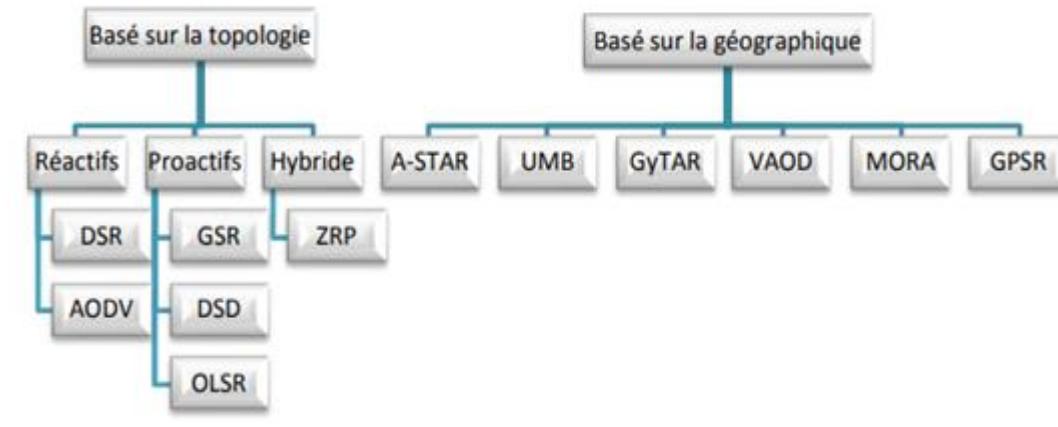


Figure II.13: Les protocoles de routage dans les réseaux VANET [32].

II.8.1 Protocoles de routage basés sur la topologie :

Les protocoles de routage topologique se servent des données relatives aux liaisons existantes entre les nœuds pour diriger le trafic des paquets. On peut classer cette famille de protocoles en trois catégories : les protocoles proactifs, réactifs et hybrides. qui sont déjà défini dans la partie II.3.2 de ce chapitre. Habituellement, les protocoles fondés sur la topologie n'acceptent pas les réseaux comportant plus de quelques centaines de nœuds [33].

II.8.2 Protocoles de routage basés sur la géographique :

Les protocoles de routage géographique se basent sur les informations de localisation dans leur mécanisme de routage, où l'émetteur exploite la position géographique plutôt que l'adresse réseau pour acheminer les paquets. Dans ces procédures, tous les nœuds sont équipés de GPS pour déterminer leur position et le paquet peut être dirigé vers sa destination en suivant un modèle de routage multisaut. Comparativement aux autres protocoles, les protocoles de routage géographique offrent une capacité d'évolution et génèrent un délai de communication minimal. De ce fait, ces protocoles présentent une plus grande stabilité et sont mieux adaptés aux VANETs [34]. Parmi les protocoles géographiques qui ont fait l'objet de nombreuses études, on compte : GPSR, LAR et DREAM.

Tableau II.2: Différence entre les protocoles de routage les topologiques et géographiques [35].

Protocoles de routage VANET	Protocoles de routage basés sur la topologie	Protocoles de routage basés sur la géographique
Méthodologie	<ol style="list-style-type: none"> Employez les algorithmes de plus court chemin. L'acheminement des paquets est effectué en fonction des informations sur les liaisons conservées dans la table de routage. 	<ol style="list-style-type: none"> On utilise un service de détermination de la position. La position du véhicule est nécessaire pour transmettre les paquets de données.
Avantages/Forces	<ol style="list-style-type: none"> La découverte de route est nécessaire pour trouver le plus court chemin possible entre le nœud source et le nœud de destination. Sans balise. Adapté au routage unicast, multicast et broadcast. 	<ol style="list-style-type: none"> Il n'est pas nécessaire de découvrir des routes et de maintenir des protocoles routiers. Émission de balises Prise en charge d'un environnement mobile complexe.
Limites	<ol style="list-style-type: none"> Utilisez plus de ressources supplémentaires. Découverte de route et entretien avec contrainte de délai. L'échec à découvrir le chemin complet est attribué aux modifications fréquentes du réseau. 	<ol style="list-style-type: none"> Offrez le moins de surcharge possible. Services de localisation de position. Il se peut qu'un blocage se produise sur le serveur de localisation.
Remarques	<ol style="list-style-type: none"> Fondamentalement proposé pour les MANETs. Fournit moins de surcharge et est adapté aux petits réseaux. 	<ol style="list-style-type: none"> Adapté aux grands réseaux tels que les VANETs. Des recherches sont en cours pour maîtriser la congestion et améliorer les réseaux de petite taille.

II.9. Protocoles de routage VANET :

Les protocoles de routage diffèrent par leur fonctionnement et voici un aperçu des plus utilisés :

II.9.1 A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing) :

Le protocole de routage A-STAR est un système de routage fondé sur la géolocalisation, conçu pour un cadre de communication véhiculaire en milieu urbain. Il s'appuie principalement sur les données des trajets de bus urbains pour déterminer une route d'ancrage (Anchor route) offrant une forte connectivité pour la distribution des colis. A-STAR utilise une méthode de routage fondée sur l'ancrage, prenant en compte les spécificités des rues. Chaque rue se voit attribuer un point basé sur sa capacité (grande ou petite rue bénéficiant d'un nombre distinct de bus). Les données de circulation transmises par les bus offrent un aperçu de la densité du trafic routier dans chaque rue. Cela offre une perspective de la ville à différents moments [32].

II.9.2 UMB (Urban Multi hop Broadcast Protocol) :

Le Protocole de routage UMB, qui fait partie de la norme 802.11, est un protocole performant reposant sur l'algorithme de diffusion multi-saut pour les réseaux inter-véhicules avec support d'infrastructure. Son objectif est de minimiser les collisions et d'exploiter la bande passante de manière optimale. À l'inverse des protocoles de diffusion par inondation, UMB délègue les tâches d'expédition et d'accusé de réception des paquets aux nœuds les plus distants sans disposer de connaissances préalables sur la structure du réseau.

UMB se divise en deux étapes : la première, nommée diffusion directionnelle, où le véhicule émetteur choisit un nœud dans l'axe de diffusion pour transmettre les données sans disposer d'informations sur la topologie. La seconde diffusion aux croisements pour la distribution des paquets dans toutes les directions est effectuée par UMB à l'aide de répéteurs placés aux intersections, facilitant ainsi le transfert des paquets vers l'ensemble des segments. On presume que chaque véhicule dispose d'un récepteur GPS (Système de Positionnement Global) et d'une carte routière numérique. Le principal atout du protocole UMB est sa capacité à diffuser de manière fiable sur plusieurs sauts dans les canaux urbains [32].

II.9.3 GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) :

GPRS est un protocole largement reconnu dans le domaine du routage géographique. Grâce à sa flexibilité et son faible encombrement en mémoire, il est facilement adaptable puisqu'il conserve dans sa table de routage uniquement les données relatives à ses voisins. GPSR repose sur deux principes fondamentaux : une méthode fondée sur la position géographique du but, et une stratégie vorace pour choisir les nœuds les plus près de la destination [36].

II.9.4 VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery) :

Le protocole de routage VADD est un protocole de routage qui tient compte du contexte des réseaux de véhicules et utilise le déplacement anticipé des véhicules pour déterminer si le message doit être retransmis ou pas. Il se sert principalement des données de circulation routière sur une route spécifique pour évaluer le temps qu'un paquet mettrait à traverser ce segment. Ainsi, les paquets seront dirigés sur l'itinéraire offrant le délai le plus court de bout en bout [29].

II.9.5 GyTAR (Greedy Traffic Aware Routing Protocol) :

C'est un protocole de routage à multiples sauts conçu pour les réseaux véhiculaires dans un contexte urbain. GyTAR fait appel à une méthode améliorée gloutonne pour le transfert des paquets de données d'une intersection à l'autre. Cette stratégie vise à réduire le nombre de sauts nécessaires pour parvenir à une intersection ciblée [37].

II.9.6 MORA ((Movement-based Routing Algorithm) :

Utilise la localisation et l'orientation de déplacement des véhicules pour ajuster les décisions de réacheminement en fonction du contexte des véhicules, afin de gérer la mobilité intense des nœuds et la modification relativement fréquente de la topologie [37].

II.9.7 MURU (A Multi-hop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks) :

Il s'agit d'un autre protocole de routage qui prend en compte le mouvement et est conçu pour les milieux urbains. Les écrivains se servent d'une mesure connue sous le nom de degré de déconnexion anticipé pour juger la qualité du parcours. Cette mesure est déterminée en se basant sur les données relatives à l'estimation de la vitesse et du parcours de chaque véhicule [37].

II.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons exposé la notion de routage dans les réseaux Ad Hoc et la catégorisation des protocoles en fonction de divers critères. Par la suite, nous avons établi le routage dans le contexte du VANET. Par conséquent, nous avons observé que certaines caractéristiques propres au VANET, comme une mobilité intense entraînant une topologie extrêmement dynamique et de grandes vitesses, compliquent parfois l'identification de trajets stables entre les points d'origine et les destinations des données. Effectivement, cela nous a conduit à déterminer que la sélection de l'algorithme de routage est conditionnée par diverses contraintes. Pour finir, nous avons basé notre travail sur certains protocoles de routage initialement définis dans les réseaux MANET et déployés dans le contexte du VANET, à savoir : AODV, DSR et DSDV.

Dans le chapitre suivant, nous exposerons la mise en œuvre de divers protocoles de routage et leur simulation au sein des réseaux VANET, tout en modifiant les modèles de mobilité pour obtenir une meilleure compréhension.

Chapitre III

Simulation et Discussion des Résultats

III.1 Introduction :

À l'heure actuelle, la mise en place d'un réseau de véhicules s'avère complexe tant sur le plan économique que logistique. Pour surmonter cette difficulté, la simulation est considérée comme l'instrument le plus utile pour établir un réseau VANET virtuel.

Dans ce chapitre, nous détaillons la procédure de simulation d'un réseau VANET, en insistant sur l'intégration des simulateurs de mobilité et de trafic. Nous débutons par décrire les étapes de notre démarche. Puis, nous présentons l'implémentation d'un réseau VANET à l'aide des simulateurs NS2 et SUMO. Enfin, nous analysons les résultats pour illustrer comment une modélisation réaliste influence l'efficacité des protocoles de routage.

III.2. Processus de simulation dans réseaux VANET :

Dans le cadre du VANET, quatre étapes sont nécessaires pour réaliser la simulation:

III.2.1 Génération d'une Mappe de simulation :

Dans un premier temps, nous avons besoin d'une zone de simulation souhaitée pour observer le déplacement des nœuds. En ce qui concerne les VANET, la zone de simulation est représentée comme une carte routière. Cette dernière peut être générée de deux façons: la première consiste en une création manuelle, tandis que la seconde repose sur l'importation automatique d'une carte réelle depuis des bases de données en ligne ou depuis Google Maps.

III.2.2 Simulation de modèle de mobilité et la génération du trafic :

Un modèle de mobilité illustre le comportement et les mouvements des nœuds dans un réseau, pour objectif de reproduire fidèlement les conditions de cette mobilité dans un contexte spécifique du monde réel. On ne peut pas modéliser les mouvements des véhicules en utilisant des modèles de mobilité MANET, en raison des contraintes imposées à leurs déplacements qui doivent respecter les règles de circulation.

Dans les réseaux MANET, le mouvement des nœuds est effectué de manière aléatoire. Chaque nœud sélectionne individuellement une destination et une vitesse au sein des limites géographiques du réseau. Dans le contexte des VANET, les mouvements et la vitesse des véhicules sont contraints et déterminés par les voies de circulation et les règles de conduite.

Ainsi, l'exécution et la simulation du modèle de mobilité et de trafic sont réalisées à l'aide d'un simulateur de trafic qui produit des fichiers TRACE détaillant les mouvements des nœuds mobiles du réseau ainsi que les requêtes qu'ils échangent. Ces fichiers de log sont par la suite exploités par un simulateur de réseau lors de la phase de simulation réseau.

III.2.3 Simulation de modèle réseau :

Les fichiers journaux produits par le simulateur de trafic sont par la suite exploités comme entrée pour un simulateur de réseau mobile afin d'examiner et calculer les valeurs des indicateurs des protocoles de routage pour évaluer leurs performances.

III.2.4 Traitement des résultats :

L'étape suivante consiste à gérer les résultats obtenus suite à la phase de simulation du réseau. L'exposition de ces résultats sous forme graphique simplifie l'analyse et la compréhension de ces derniers.

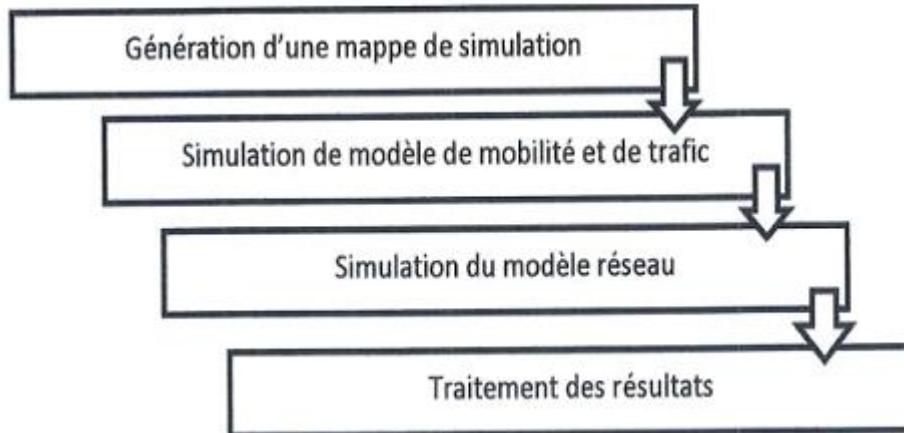


Figure III.1: Processus de simulation dans un VANET [38].

III.3. Outils de mise en œuvre et de simulation :

III.3.1 Environnement matériel :

Nous avons implémenté notre projet sur un ordinateur Lenovo, et la configuration est la suivante :

Tableau III.1: Matériels utilisés.

Processeur	Intel® CPU N 3060 @ 1.60 GHz
Mémoire vive(RAM)	2,00 Go
Disque dur (stockage)	Model : ST500LT012-1DG142 Name : PHYSICALDRIVE0 Size : 500105249280
Carte graphique	Intel HD Graphics 400
Système d'exploitation	Linux ubuntu 20.04.6 LTS (64 bits)

III.3.2Environnement logiciel :

III.3.2.1 Le Simulateur NS-2 :

Le simulateur d'événements discrets NS-2 (Network Simulator 2) a été conçu à l'Institut des sciences de l'information (ISI), situé en Californie. Le développement de NS2 a débuté en 1989 en tant que dérivé du simulateur de réseau réel.

Le NS2 est un simulateur standard utilisé pour expérimenter des applications de réseaux filaires et sans fil, car c'est un outil open source robuste dédié à la simulation de réseaux. Même si les premières versions ont été conçues pour des réseaux filaires, l'ajout du support sans fil a été réalisé ultérieurement grâce à diverses extensions. Il adhère étroitement au modèle OSI. Il s'agit d'un simulateur orienté objet codé en C++, utilisant un interpréteur OTcl comme interface utilisateur.

NS-2 est construit sur deux langages principaux : C++ et OTcl (Object-OrientedTool Command Language). Tandis que le C++ gère les processus internes (c'est-à-dire un backend) des objets de simulation, l'OTcl s'occupe de la simulation en assemblant et en configurant les objets, ainsi qu'en organisant des événements discrets (c'est-à-dire une interface). C++ et OTcl sont connectés entre eux grâce à TclCL [39].

III.3.2.2. Les éléments constitutifs d'un réseau sous NS2

Un modèle de réseau dans NS est composé de :

- a) Noeuds :** un nœud est une entité pouvant être adressée. Dans NS, on distingue deux catégories de nœuds : les nœuds unicast et les nœuds multicast.
- b) Liaisons de communication entre les nœuds :** utilisées pour connecter les divers nœuds ensemble.

- c) **Agents** : de communication : ils représentent les créateurs et les utilisateurs de paquets. Ces agents sont liés aux nœuds et interconnectés entre eux pour le transfert de données d'un nœud à l'autre.
- d) **Application** : produit le flux de données en fonction de diverses applications (CBR, FTP), et utilise les agents de transport [8].

III.3.2.3. Flot de simulation :

NS2 exécute la simulation en interprétant le script OTCL. Les résultats obtenus (Fichier trace et fichier NAM) peuvent être examinés à l'aide de l'outil NAM (Network Animator) et analysés grâce aux courbes dessinées par l'outil Xgraph (Un traceur de graphes) [40].

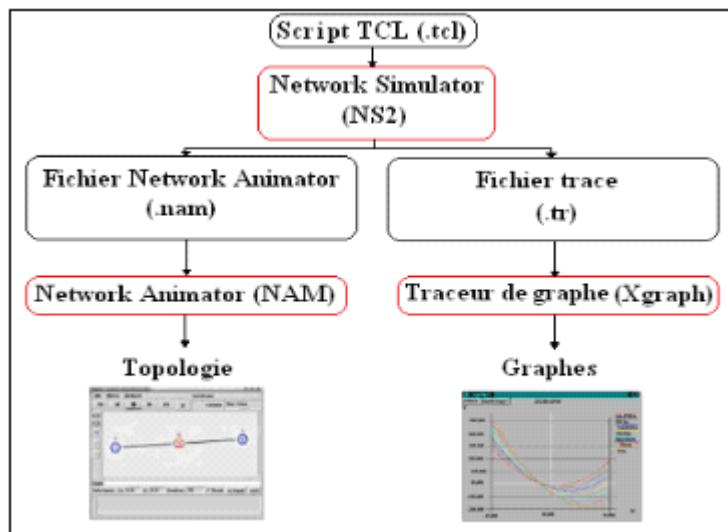


Figure III.2: Architecture de base de NS-2[40].

a) TCL/OTCL/Tk :

- **TCL (Langage de Commande d'Outils)** : C'est un langage exécuté par un interpréteur TCL (par exemple, NS). Les programmes écrits en Tcl sont en réalité des fichiers texte composés de commandes. On appelle ces fichiers des scripts.
- **OTCL** : C'est une version orientée objet de Tcl, qui s'appuie sur les fonctions standard du langage Tcl tout en introduisant des commandes supplémentaires à l'interpréteur.
- **Tk (Tool kit)** : C'est un langage interprété qui facilite la création d'interfaces graphiques [40].

b) NAM :

Le NAM, un instrument de visualisation et d'animation basé sur Tcl/TK, est employé dans NS pour l'interprétation et la représentation graphique des simulations réseau et des tracés de données. On peut lancer le NAM en saisissant la commande « nam<nom du fichier NAM (.nam)>» dans l'interface de commande Linux [40].

c) Xgraph :

Xgraph est un logiciel qui facilite la création de graphiques à partir de tableaux contenant des données x/y. Il représente des données provenant de multiples fichiers sur un seul graphique et peut gérer des volumes de données illimités ainsi qu'un nombre quelconque de fichiers [40].

d) Fichier trace :

Le fichier de suivi est un document qui consigne tous les événements ayant eu lieu lors de la simulation, tels que l'émission, la réception et la perte de paquets. On distingue deux formats de fichier trace : l'ancien format et le format récent. Nous avons choisi d'utiliser le format précédent [8].

L'exemple de ligne de fichier trace en ancien format est présenté dans l'image suivante :

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.3: Exemple d'une ligne de fichier trace [8].

e) AWK :

AWK est un langage conçu pour le traitement de fichiers texte, tirant son inspiration du langage C. Chaque fichier est géré en tant que série d'enregistrements, et par défaut, chaque ligne constitue un enregistrement. Il explique comment sélectionner les informations pertinentes de la simulation à partir du fichier de sortie « .tr » de NS2 [8].

III.3.4 Le simulateur de trafic routier :

III.3.4.1SUMO (Simulation of Urban Mobility) :

SUMO est un simulateur de trafic routier conçu pour simuler efficacement diverses scènes de circulation routière. SUMO nécessite des fichiers de réseau. Des informations telles que les nœuds, les arêtes et les connexions entre eux peuvent être obtenues. Ce fichier de réseau (OSM) est généré par une application de cartographie numérique (OpenStreetMap). Conçu pour créer des cartes du monde gratuites, modifiables ou conçues. Nous créons manuellement avec les deux autres fichiers (nœuds et bords) dépend du réseau requis. De plus, SUMO utilise tous les circuits parcourus par chaque véhicule pendant la simulation.

Information des moyens de transport supplémentaires tels que des feux de circulation, des arrêts de vélos et de bus sont situés dans le fichier joint. Lors de la simulation du trafic, l'API TRACI (Traffic interface de contrôle) chargée de manipuler les paramètres de mobilité du véhicule. Nous attribuons des identifiants uniques, des emplacements de départ et d'arrivée, des heures de départ et d'arrivée à chaque véhicule. Cette API contrôle à distance la conduite autonome et Stratégies de gestion du trafic [41].

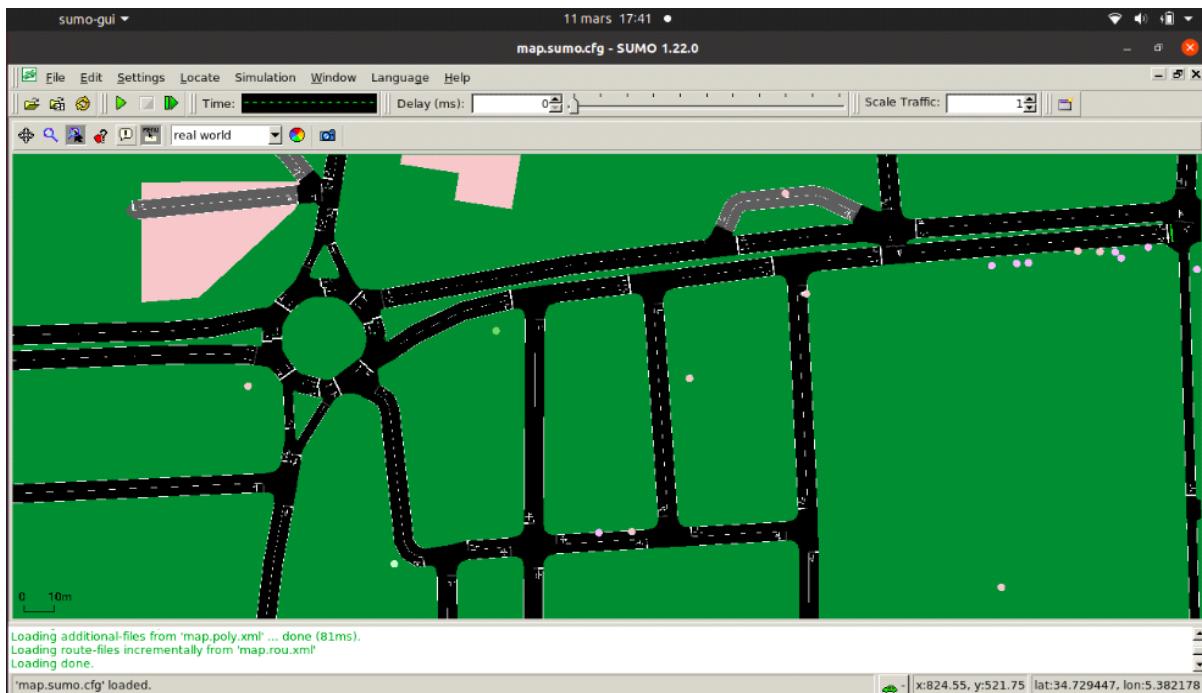


Figure III.4: Interface SUMO.

III.4 OpenStreetMap (OSM):

OSM est un projet international fondé en 2004 pour créer des cartes du monde gratuites. Les cartes rassemblent les routes, les voies ferrées, les rivières, les forêts et les bâtiments. Les utilisateurs OSM peuvent exporter une zone de la carte (sous le fichier .osm) vers utiliser-le et intégrer-le dans d'autres applications et simulateurs [27].

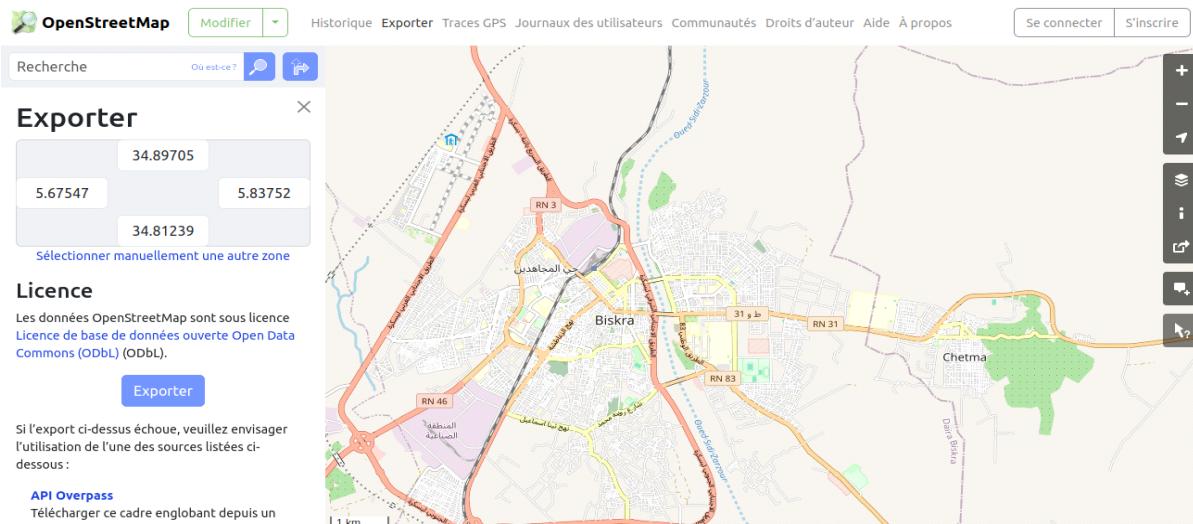


Figure III.5: La ville de Biskra dans Openstreetmap.

III.5. Etapes de simulation des protocoles de routage dans les VANET :

Dans cette partie, on explique les étapes qui servent à imiter les protocoles sur les réseaux VANET. On a choisi SUMO pour faire le trafic, car il aide à modéliser ce que font les voitures et le réseau routier. Pour la simulation du réseau, NS-2 a été choisi pour montrer les protocoles de communication sans fil dans les réseaux ad-hoc comme les VANET. Pour utiliser ce logiciel un groupe d'outils doit être installé :

- Linux
- SUMO version: 1.22.0
- NS2

III.5.1 Génération de la carte routière :

Cette étape consiste de définir une carte routière sur laquelle se déroule notre simulation. Dans notre cas, on a utilisé OpenStreetMap (OSM) pour obtenir des informations de lieu, qui sont transformées ensuite en réseau routier utilisable dans SUMO avec l'aide de l'outil netconvert.

1. Sur OpenStreetMap, La zone urbaine de notre ville « Biskra » a été déterminée « **map.osm** ». comme l'indique la figure suivante :



Figure III.6: Zone urbaine de simulation.

2. Nous ouvrons le terminal et donnons les commandes

```
netconvert --osm-files map.osm -o map.net.xml
```

Pour convertir le fichier « **map.osm** » en format SUMO, donc en « **map.net.xml** ». C'est super important pour que SUMO puisse l'utiliser. Après ça, nous gardons les fichiers « **map.osm** » ou « **map.net.xml** » dans un coin sécurisé, histoire de pouvoir les retrouver quand nous lancerons notre simulation.

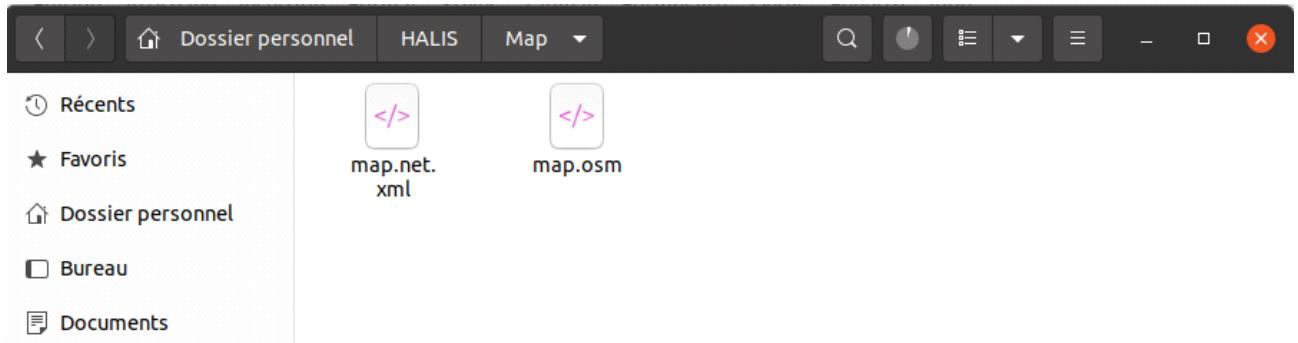


Figure III.7: Emplacement des fichiers.

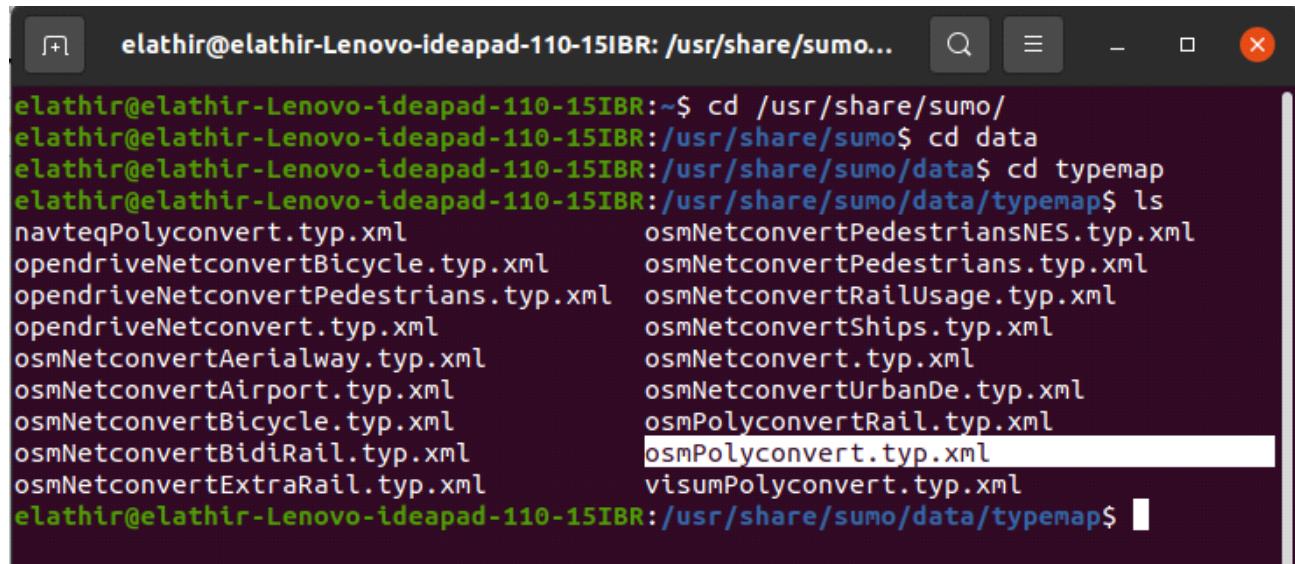
Le fichier « **map.net.xml** » est essentiel dans la modélisation du trafic avec SUMO. Ce dossier renferme une description intégrale du réseau routier sur lequel sera effectuée la simulation de circulation. Pour être plus précis, un fichier « **.net.xml** » pourrait comporter les éléments suivants : nœuds (nodes), bords (edge), longueur (length), voies (lanes), vitesse limite (speed Limit), direction (direction), type (type), connexions (Connections), jonctions (junctions), type de contrôle (control type), logique des feux de circulation (trafficlight logic), règles de priorité (priorityRules), type des routes (Road Types)...

```

29  <edge id=":1074595938_0" function="internal">
30      <lane id=":1074595938_0_0" index="0" disallow="tram rail_urban rail rail_electric rail_fast ship container cable_car subway
aircraft wheelchair scooter drone" speed="6.47" length="9.03" shape="399.63,353.46 401.64,354.92 403.62,355.38 405.58,354.83
407.52,353.28"/>
31      <lane id=":1074595938_0_1" index="1" disallow="tram rail_urban rail rail_electric rail_fast ship container cable_car subway
aircraft wheelchair scooter drone" speed="7.97" length="14.26" shape="397.40,355.75 400.57,358.06 403.70,358.78 406.79,357.92
409.85,355.47"/>
32      <lane id=":1074595938_0_2" index="2" disallow="tram rail_urban rail rail_electric rail_fast ship container cable_car subway
aircraft wheelchair scooter drone" speed="9.23" length="19.49" shape="395.17,358.04 399.50,361.20 403.77,362.18 408.00,361.01
412.18,357.66"/>
33  </edge>

```

3. Nous ouvrons le terminal et nous obtenons les commandes suivantes :



```
elathir@elathir-Lenovo-ideapad-110-15IBR:~$ cd /usr/share/sumo/
elathir@elathir-Lenovo-ideapad-110-15IBR:/usr/share/sumo$ cd data
elathir@elathir-Lenovo-ideapad-110-15IBR:/usr/share/sumo/data$ cd typemap
elathir@elathir-Lenovo-ideapad-110-15IBR:/usr/share/sumo/data/typemap$ ls
navteqPolyconvert.typ.xml          osmNetconvertPedestriansNES.typ.xml
opendriveNetconvertBicycle.typ.xml osmNetconvertPedestrians.typ.xml
opendriveNetconvertPedestrians.typ.xml osmNetconvertRailUsage.typ.xml
opendriveNetconvert.typ.xml         osmNetconvertShips.typ.xml
osmNetconvertAerialway.typ.xml     osmNetconvert.typ.xml
osmNetconvertAirport.typ.xml       osmNetconvertUrbanDe.typ.xml
osmNetconvertBicycle.typ.xml       osmPolyconvertRail.typ.xml
osmNetconvertBidiRail.typ.xml      osmPolyconvert.typ.xml
osmNetconvertExtraRail.typ.xml     visumPolyconvert.typ.xml
elathir@elathir-Lenovo-ideapad-110-15IBR:/usr/share/sumo/data/typemap$
```

Figure III.8: Terminal d'accès et listage du répertoire typemap de SUMO.

- Ensuite, nous ouvrons le fichier pour l'éditer à l'aide de la commande

gedit osmPolyconvert.typ.xml

Nous copions ensuite le fichier dans le dossier du projet pour l'utiliser afin de convertir la structure de la carte pour cette région. Nous utilisons la commande

cp osmPolyconvert.typ.xml /home/elathir/HALIS/Map/

Et nous renommons-le en « typemap.xml ».

Le fichier « **typemap.xml** » : Indique comment effectuer la correspondance (mapping) des balises et attributs des éléments polygonaux dans les fichiers OpenStreetMap (.osm) vers des types de polygones que SUMO peut interpréter et visualiser.

```

1 <polygonTypes>
2   <polygonType id="waterway"           name="water"      color=".71,.82,.82" layer="-4"/>
3   <polygonType id="natural"            name="natural"    color=".55,.77,.42" layer="-4"/>
4   <polygonType id="natural.water"      name="water"      color=".71,.82,.82" layer="-4"/>
5   <polygonType id="natural.wetland"    name="water"      color=".71,.82,.82" layer="-4"/>
6   <polygonType id="natural.wood"       name="forest"     color=".55,.77,.42" layer="-4"/>
7   <polygonType id="natural.land"       name="land"       color=".98,.87,.46" layer="-4"/>
8

```

3. Cette commande

```

polyconvert --osm-files map.osm --net-file map.net.xml --type-file typemap.xml -o
map.poly.xml

```

génère ensuite le fichier « **map.poly.xml** » responsable du stockage des données du polygone géographique et de ses propriétés au format XML.

```

<additional xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/-
additional_file.xsd">
  <location netOffset="-748876.14,-3859963.11" convBoundary="-0.00,-0.00,809.52,688.16"
  origBoundary="5.722095,34.851572,5.730970,34.857724" projParameter="+proj=utm +zone=31 +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no_defs"/>
  <poi id="3449613517" type="amenity" color="237,199,199" layer="4.00" x="386.37" y="366.57"/>
  <poi id="4228154189" type="leisure" color="207,245,201" layer="3.00" x="406.67" y="353.79"/>
  <poi id="4440270289" type="shop" color="237,199,255" layer="4.00" x="424.00" y="338.92"/>
  <poi id="4520851992" type="amenity" color="237,199,199" layer="4.00" x="394.34" y="370.30"/>
  <poi id="4743292421" type="amenity" color="237,199,199" layer="4.00" x="379.09" y="351.30"/>
</additional>

```

La commande **polyconvert** spécifie le nom du fichier de sortie dans lequel les polygones convertis seront enregistrés au format SUMO.

4. Il est nécessaire d'avoir ces fichiers de données de trafic, nous appliquons cette commande pour le sortir.

```
python3 /usr/share/sumo/tools/randomTrips.py -n map.net.xml -r map.rou.xml -e 50  
-l
```

Le fichier « **map.rou.xml** » renferme toutes les informations relatives au trafic, indiquant le parcours précis de chaque véhicule sur le réseau, le moment de son apparition et du début de son mouvement, en plus du lieu d'arrivée final. Ce fichier sert de source principale pour le déroulement de la simulation de circulation dans SUMO.

```
<routes xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/routes_file.xsd">
  <trip id="0" depart="0.00" from="338070343#0" to="150706872#0"/>
  <trip id="1" depart="1.00" from="307685036#0" to="150708029"/>
  <trip id="2" depart="2.00" from="339247735#0" to="338070340#1"/>
  <trip id="3" depart="3.00" from="339247735#0" to="150708029"/>
  <trip id="4" depart="4.00" from="338070340#0" to="150706872#0"/>
  <trip id="5" depart="5.00" from="178566977#1" to="178566977#1"/>
  <trip id="6" depart="6.00" from="178566977#0" to="150708029"/>
  <trip id="7" depart="7.00" from="338070343#0" to="178566977#1"/>
```

Le fichier « **rou.alt.xml** » offre des itinéraires alternatifs que les véhicules peuvent suivre durant la simulation. L'application SUMO offre aux automobilistes la possibilité de reproduire le comportement lors d'un changement de voie en fonction des conditions routières ou de leurs préférences, apportant ainsi une dimension plus réaliste à la simulation.

Le fichier « **trip.xml** » établit les itinéraires fondamentaux des véhicules, indiquant exclusivement le lieu de départ et l'arrivée désirée pour chaque course, ainsi que le moment de commencement de cette dernière. Ce fichier est fréquemment employé comme étape initiale dans la création d'un fichier `map.rou.xml` plus élaboré par les outils SUMO.

5. Après avoir créé les fichiers d’itinéraire XML, l’étape suivante consiste à configurer le fichier de l’interface graphique SUMO. Nous recherchons maintenant le fichier nommé « sumo.cfg » dans le dossier SUMO installé sur notre machine, et nous allons copier ce fichier sur notre travail actuel, et nous le renommons en « map.sumo.cfg »

```

<configuration>
  <input>
    <net-file value="map.net.xml"/>
    <route-files value="map.rou.xml"/>
    <additional-files value="map.poly.xml"/>
  </input>
  <time>
    <begin value="0"/>
    <end value="100"/>
    <step-length value="0.1"/>
  </time>
</configuration>

```

6. Pour finir, nous exécutons la commande

```
sumo-gui map.sumo.cfg
```

Afin de démarrer l'interface graphique du simulateur de circulation SUMO et d'importer le fichier de configuration appelé « **map.sumo.cfg** ».

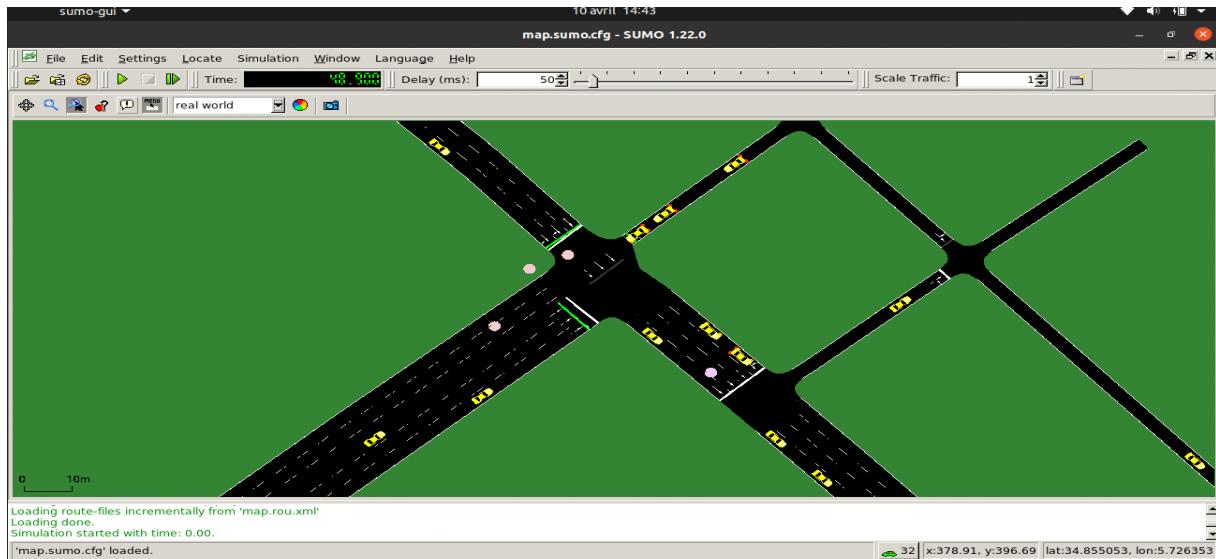


Figure III.9: Interface graphique de Simulation de trafic routier dans SUMO.

Après avoir établi un environnement de simulation de trafic grâce à SUMO, l'étape suivante et naturelle serait d'associer cette simulation au simulateur de réseau NS-2. Cette liaison est indispensable pour nous aider à analyser l'effet du trafic réel sur le rendement des réseaux sans fil et de leurs applications, tout en cherchant à saisir la manière dont ces applications communiquent avec la fluctuation du trafic dans nos scénarios.

III.5.2 Génération des fichiers traces :

La génération de fichiers traces est une phase cruciale lors de l'élaboration d'un scénario réseau pour le simulateur NS2. Il existe plusieurs méthodes pour créer les fichiers de traces. En se servant de 'SUMO trace exporter', 'MOVES' ou 'iTETRIS'. Dans notre situation, nous allons faire appel à l'exportateur de traces SUMO.

Cet outil de génération de fichiers trace est disponible chez Sumo. Il se trouve dans le répertoire 'Tools' du package SUMO [13]. On commence par générer le fichier de trace en employant la commande ci-après :

```
sumo -c map.sumo.cfg --fcd-output map.sumo.xml
```

```
<fcd-export xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:noNamespaceSchemaLocation="http://sumo.dlr.de/xsd/fcd_file.xsd">
  <timestep time="0.00">
    <vehicle id="0" x="588.52" y="539.54" angle="227.71" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.00" pos="5.10" lane="338070343#0_0"
      slope="0.00"/>
  </timestep>
  <timestep time="0.10">
    <vehicle id="0" x="588.50" y="539.52" angle="227.71" type="DEFAULT_VEHTYPE" speed="0.25" pos="5.13" lane="338070343#0_0"
      slope="0.00"/>
  </timestep>
```

Ensuite, nous transformons le fichier trace généré en un autre format, ici '**.tcl**' qui est utilisé par NS2 ; à la fin, nous obtiendrons trois fichiers (fichier de mobilité, fichier d'activité et fichier de configuration) :

```
python3 /usr/share/sumo/tools/traceExporter.py --fcd-input map.sumo.xml
--ns2config-output map.tcl --ns2mobility-output mobility.tcl --ns2activity-output
activity.tcl
```

Ici, dans le fichier « **mobility.tcl** », nous décrivons comment chaque élément se déplacera (son chemin, sa vitesse, ses changements de chemin, etc.). Son mouvement est déterminé lors de la simulation.

```
$node_(1) set X_ 210.53
$node_(1) set Y_ 573.02
$node_(1) set Z_ 0
$ns_ at 1.0 "$node_(1) setdest 210.53 573.02 0.00"
$ns_ at 1.1 "$node_(0) setdest 587.41 538.53 2.33"
$ns_ at 1.1 "$node_(1) setdest 210.54 573.0 0.26"
$ns_ at 1.2 "$node_(0) setdest 587.23 538.36 2.53"
$ns_ at 1.2 "$node_(1) setdest 210.58 572.96 0.51"
$ns_ at 1.3 "$node_(0) setdest 587.02 538.18 2.71"
```

Dans le fichier **activity.tcl**, nous décrivons ce que fait chaque élément (s'arrêter à un feu de circulation, prendre un passager, faire une pause).

```
$ns_ at 12.0 "$g(10) start"; # SUMO-ID: 12
$ns_ at 86.6 "$g(10) stop"; # SUMO-ID: 12
$ns_ at 14.7 "$g(11) start"; # SUMO-ID: 14
$ns_ at 93.3 "$g(11) stop"; # SUMO-ID: 14
$ns_ at 16.0 "$g(12) start"; # SUMO-ID: 16
$ns_ at 100.00000000000001 "$g(12) stop"; # SUMO-ID: 16
$ns_ at 17.0 "$g(13) start"; # SUMO-ID: 17
$ns_ at 80.8 "$g(13) stop"; # SUMO-ID: 17
```

L'étape suivante consiste à intégrer ces fichiers que nous avons créés dans le script de simulation NS-2 pour démarrer la simulation en fonction des données générées à partir de SUMO.

1. Nous allons modifier un peu le fichier « **map.tcl** » en utilisant la commande :

```
home /el-athir/ns-allinone-2.35/ns-2.35/tcl/ex/gedit simple-wireless.tcl
```

Nous ouvrons le fichier « **simple-wireless.tcl** », nous le copions et l'appliquons dans « **map.tcl** ». Pour créer un fichier complet.

Le fichier « **map.tcl** » paramètre les réglages fondamentaux d'un scénario de simulation de réseau dans NS-2, en se basant sur les données récupérées de SUMO, comme la détermination du nombre de nœuds, leur liaison avec des fichiers de circulation et d'activité, ainsi que l'établissement de certaines caractéristiques globales du réseau. C'est le moment initial pour l'établissement de l'environnement de simulation. Le contenu du fichier est visualisé dans la fichier :

```
# Node_(1) then starts to move away from node_(0)
$ns_ at 100.0 "$node_(1) setdest 490.0 480.0 15.0"

# Setup traffic flow between nodes
# TCP connections between node_(0) and node_(1)

source mobility.tcl

set tcp [new Agent/TCP]
$tcp set class_ 2
set sink [new Agent/TCPSink]
$ns_ attach-agent $node_(0) $tcp
$ns_ attach-agent $node_(22) $sink
$ns_ connect $tcp $sink
set ftp [new Application/FTP]
$ftp attach-agent $tcp
$ns_ at 10.0 "$ftp start"

#
# Tell nodes when the simulation ends
#
for {set i 0} {$i < $val(nn)} {incr i} {
    $ns_ at 100.0 "$node_($i) reset";
}
$ns_ at 100.0 "stop"
$ns_ at 100.01 "puts \"NS EXITING...\" ; $ns_ halt"
proc stop {} {
    global ns_ tracefd
    $ns_ flush-trace
    close $tracefd
}

puts "Starting Simulation..."
```

2. Ensuite, nous exécutons la commande suivante

```
ns map.tcl
```

Pour créer le fichier de trace «**map.tr**» et «**map.nam**» :

Le fichier «**map.tr**» est un fichier de données cartographiques potentiel contenant des coordonnées, des itinéraires et des caractéristiques géographiques. Comme indiqué sur la fichier suivante :

```
7732 s 39.833905110 _0_ AGT --- 52 tcp 1040 [0 0 0 0] ----- [0:0 22:0 32 0] [26 0] 0 0
7733 r 39.833905110 _0_ RTR --- 52 tcp 1040 [0 0 0 0] ----- [0:0 22:0 32 0] [26 0] 0 0
7734 s 39.833905110 _0_ RTR --- 52 tcp 1040 [0 0 0 0] ----- [0:0 22:0 30 2] [26 0] 0 0
7735 r 39.843790441 _2_ RTR --- 46 tcp 1040 [13a 2 0 800] ----- [0:0 22:0 30 2] [23 0] 1 0
7736 f 39.843790441 _2_ RTR --- 46 tcp 1040 [13a 2 0 800] ----- [0:0 22:0 29 14] [23 0] 1 0
7737 r 39.853636215 _2_ RTR --- 49 tcp 1040 [13a 2 0 800] ----- [0:0 22:0 30 2] [24 0] 1 0
7738 f 39.853636215 _2_ RTR --- 49 tcp 1040 [13a 2 0 800] ----- [0:0 22:0 29 14] [24 0] 1 0
7739 r 39.863622340 _14_ RTR --- 46 tcp 1040 [13a e 2 800] ----- [0:0 22:0 29 14] [23 0] 2 0
7740 f 39.863622340 _14_ RTR --- 46 tcp 1040 [13a e 2 800] ----- [0:0 22:0 28 22] [23 0] 2 0
7741 r 39.873587991 22 AGT --- 46 tcp 1040 [13a 16 e 800] ----- [0:0 22:0 28 22] [23 0] 3 0
```

Tableau III.2: Signification des différents champs d'un fichier trace [38].

N°colonne	Signification	Valeurs Possibles
1	Action (type d'évènement)	[s,[r,[f],[D] : s-- sent, f--forwarded r -- received, D -- dropped
2	Le temps	Date de l'envoi
3	id du nœud courant	
4	niveau de trace, la couche dans laquelle se trouve le paquet .	MAC : couche mac RTR: routage AGT : agent(application)
6	Le numéro de séquence du Paquet	
7	Le type du paquet	cbr. ARP, RTS, TCP, ACK ...
8	La taille du paquet	
9	[a b c d]	a -- the packet duration in mac header b - adresse mac de la destination c -- adresse mac de la source d -- the mac type of the packet body
[.....	- ip de source : numéro de port - ip de destination (-1 broadcast) : numéro de port. - TTL - ip du prochain noeud	

Les fichiers de trace « **map.nam** » qui possèdent l'extension ***.nam** constituent une première classe de ces fichiers. Ces documents contiennent des informations essentielles pour le suivi des nœuds et de leurs mouvements, ainsi que pour la trajectoire des paquets entre les nœuds, comme l'illustre le fichier :

```

n -t 24.400000 -s 15 -x 573.697202 -y 526.056547 -U -6.684590 -V -6.085873 -T 0.101308
n -t 24.400000 -s 17 -x 588.410000 -y 539.440000 -U -0.745051 -V -0.651920 -T 0.107375
n -t 24.400000 -s 2 -x 191.168057 -y 169.866710 -U 10.356691 -V 9.390386 -T 0.195231
n -t 24.400000 -s 3 -x 360.274579 -y 498.936372 -U 9.681659 -V -11.378448 -T 0.100749
n -t 24.400000 -s 4 -x 586.312271 -y 152.821380 -U 9.831277 -V -10.315450 -T 0.234733
n -t 24.400000 -s 5 -x 513.543980 -y 327.705445 -U 7.565951 -V -8.554109 -T 0.292894
n -t 24.400000 -s 6 -x 410.570790 -y 377.699165 -U -4.963056 -V -4.471071 -T 0.104933
n -t 24.400000 -s 7 -x 547.960292 -y 197.793894 -U 7.800513 -V -9.445343 -T 0.215333
n -t 24.400000 -s 8 -x 120.272442 -y 106.339944 -U 9.671465 -V 8.596881 -T 0.202406
n -t 24.500000 -s 0 -x 437.920056 -y 336.962569 -U 6.854205 -V 1.149947 -T 0.102119

```

Nous effectuons une simulation en utilisant l'outil **NAM** pour illustrer les mouvements des véhicules sur la base de la carte routière élaborée auparavant. C'est un outil de visualisation basé sur Tcl/Tk, qui permet l'affichage des traces de simulation de réseaux et des véritables empreintes de paquets en transit.

Il est chargé de la mise en place de la topologie de la carte ainsi que de l'animation au sein du paquet. Donc pour voir le mouvement réel des véhicules on peut faire La commande

nammap.nam

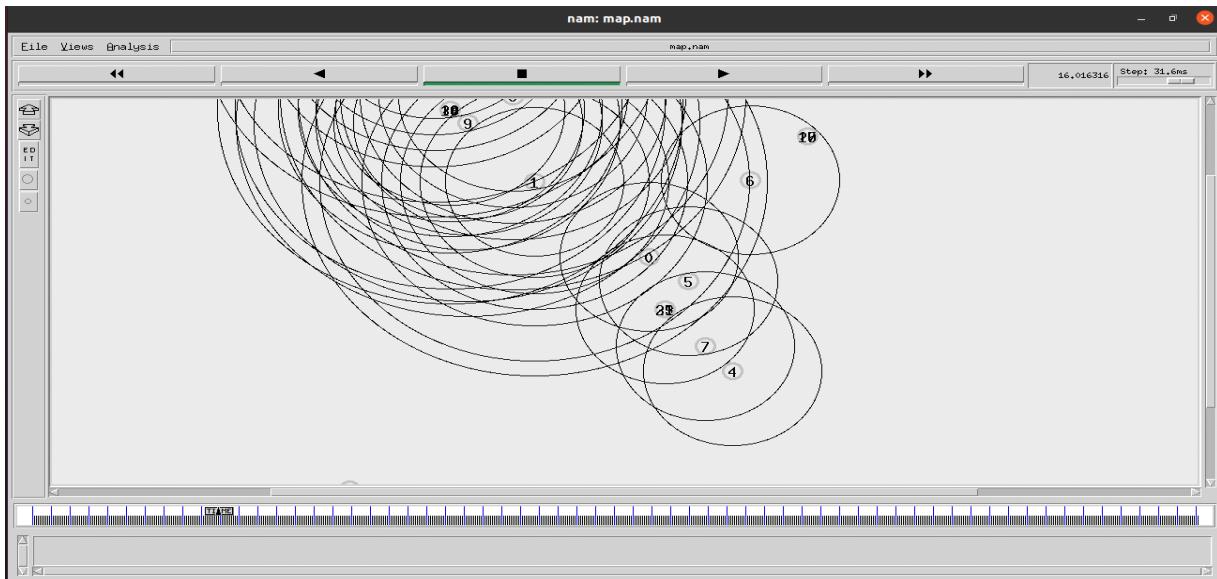


Figure III.10: Visualisation de simulation avec le NAM.

Au final, il est essentiel d'utiliser l'outil **AWK** pour choisir les événements de trace en manipulant les données cruciales avec la commande : « **awk -f calcul.awk map.tr** ».

III.6. Calcul des valeurs des métriques :

Les métriques constituent des métriques de performance du protocole de routage qui autorisent l'évaluation de son efficacité. Dans notre travail, nous avons considéré les métriques suivants :

III.6.1 Calcul du taux de livraison de paquets :

C'est un critère essentiel pour juger l'efficacité d'un protocole de routage dans tout type de réseau. Ces résultats sont influencés par divers paramètres choisis pour la simulation. Les composants fondamentaux comprennent la taille du paquet, le nombre de nœuds, l'étendue des communications et la configuration du réseau. Le taux de livraison des paquets (PDR - Packet Delivery Ratio) peut être calculé en divisant le nombre total de paquets reçus par le destinataire par le nombre total de paquets transmis par tous les nœuds émetteurs [42]. Cette opération s'exprime mathématiquement à travers l'équation (1) :

$$PDR = \frac{\sum \text{nbr de paquets reçus par la destination}}{\sum \text{nbr de paquets envoyés par tous les nœuds source}} \quad (1)$$

III.6.2 Calcul du délai moyen de bout en bout :

Le délai moyen de bout en bout pour un paquet i entre une paire de points source et destination est donné par :

$$D = (T_{ri} - T_{si}) \quad (2)$$

En considérant D comme le délai moyen de bout en bout, T_r représente le temps lorsque le paquet est reçu par le nœud destinataire r , tandis que T_{si} indique le moment où le paquet est émis par le nœud source S . Par la suite, nous calculons la moyenne pour chaque ensemble de paquets transmis par chaque paire de nœuds tout au long de la simulation, afin d'en déterminer le retard moyen de bout en bout.

Il peut être prouvé mathématiquement à l'aide de l'équation :

$$D = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (T_{ri} - T_{si}) * 100 \text{ [ms]} \quad (3)$$

Avec n, le nombre total de paquets reçus pendant la simulation [42].

III.6.3 Calcul du taux de perte de paquet :

Le taux de perte des paquets se définit comme le rapport entre les paquets qui ont été perdus et la totalité des paquets qui ont été transmis [42] :

$$T_{perte} = \frac{\text{le nombre de paquet perdu}}{\text{le nombre de paquet émis}} \quad (4)$$

III.6.4 Calcul du Débit moyen :

Cette métrique est exprimée en termes de paquet/unité TIL Time IntervalLength, où TIL représente la durée de l'intervalle de temps [42]. Cela se traduit mathématiquement par l'équation suivante:

$$D_{moyen} = \frac{\text{taille du paquet reçu}}{(\text{temps final} - \text{temps initial})} * \frac{8}{100} \quad (5)$$

III.6.5 Calcul de la gigue :

La gigue représente la différence entre le délai de bout en bout maximal et le délai de bout en bout minimal [40] .

$$G = D_{max} - D_{min} \quad (6)$$

III.7. Simulation des performances des protocoles de routage du réseauVANET :

Pour la simulation, trois protocoles ont été sélectionnés : AODV, qui est un protocole de topologie active ; DSDV, un protocole de topologie préemptive ; et DSR, un protocole de routage réactif. Nous analysons l'effet de la mobilité sur l'efficacité de ces protocoles.

L'évaluation des performances des protocoles simulés est effectuée en se basant sur les données des fichiers de trace et en utilisant le langage AWK.

III.7.1 Configuration des paramètres de simulation :

Les paramètres de la simulation utilisés sont résumés dans le tableau III.1:

Tableau III.3: Paramètres de simulation.

Nom	Paramètres
Simulateur	NS-2.35
couche Mac	802.11
Couche physique WLAN	IEEE 802.11 a
taille du paquet	50
nœuds mobiles	40,80,120
Temp de simulation (s)	100
Modèle de propagation	TwoRayGround
Protocole de routage	AODV, DSDV, DSR
Vitesse des nœuds (m/s)	20,40,60

III.7.2. Résultats et interprétation :

Dans cette partie, nous allons simuler et évaluer les performances de protocoles de routage (AODV, DSDV, DSR), pour les réseaux VANET. Nous avons créer deux scénarios en utilisant le simulateur NS2.

III.7.2.1. Analyse et évaluation du Scénario n°1 :

Ce scénario vise à analyser et à évaluer les performances de trois protocoles de routage populaires dans les VANET, AODV, DSDV et DSR, en mettant l'accent sur l'impact de la vitesse de déplacement des nœuds sur les indicateurs de performance clés.

a) Taux de livraison des paquets :

Le Figure III.11, illustre l'augmentation de la vitesse des nœuds affecte le taux de livraison des paquets pour trois protocoles de routage sans fil: AODV, DSDV et DSR.

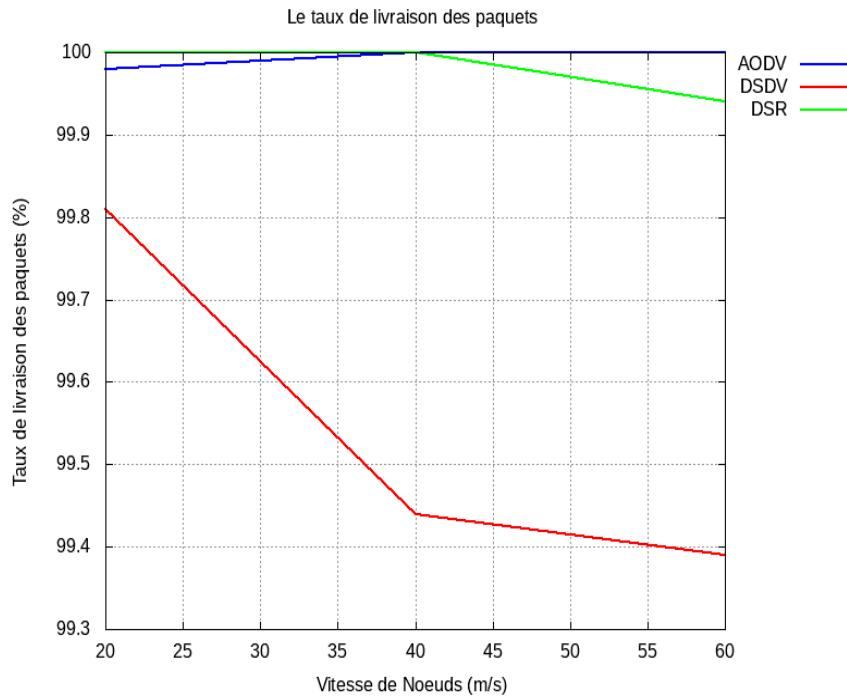


Figure III.11: Taux de livraison de paquets en fonction de vitesse de nœuds.

On peut observer qu'AODV Maintient une excellente performance (taux de livraison proche de 100 %) quelle que soit la vitesse des nœuds. Quant au DSDV sa performance diminue considérablement avec l'augmentation de la vitesse des nœuds, le rendant moins adapté aux environnements à forte mobilité. Concernant le taux de transmission initial du DSR montre une diminution progressive de la performance avec l'augmentation de la vitesse, mais reste meilleur que DSDV à haute vitesse.

Globalement, cette affirmation suggère que le protocole AODV est le plus performant en termes de transmission de paquets.

b) Délai moyen :

La Figure III.12 montre la corrélation entre le «délai moyen de bout en bout» de trois protocoles de routage distincts (AODV, DSDV, DSR) et la « vitesse de nœuds » présent dans le réseau.

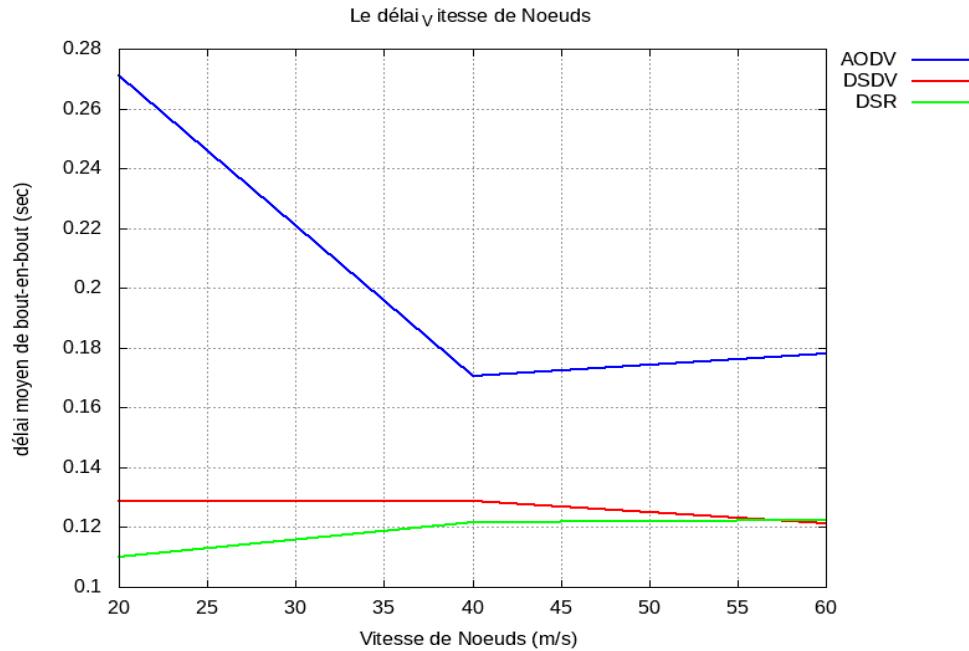


Figure III.12: Délai moyen de bout-en-bout en fonction de la vitesse de nœuds.

On peut dire que l'AODV montre un retard variable (élevé à basse vitesse, faible en moyen, puis un peu augmente), mais il offre le meilleur taux de livraison à des vitesses élevées. Le DSDV offre un retard relativement moyen et stable, mais il souffre du taux de livraison le plus bas à des vitesses élevées. En ce qui concerne le DSR, il offre le retard le plus bas dans la plupart des cas, mais il peut avoir un taux de livraison légèrement inférieur à des vitesses élevées.

c) Taux de perte de paquet :

Les taux de perte des protocoles AODV, DSDV et DSR en fonction du vitesse de nœuds sont donnés par la figure suivante (Figure III.13):

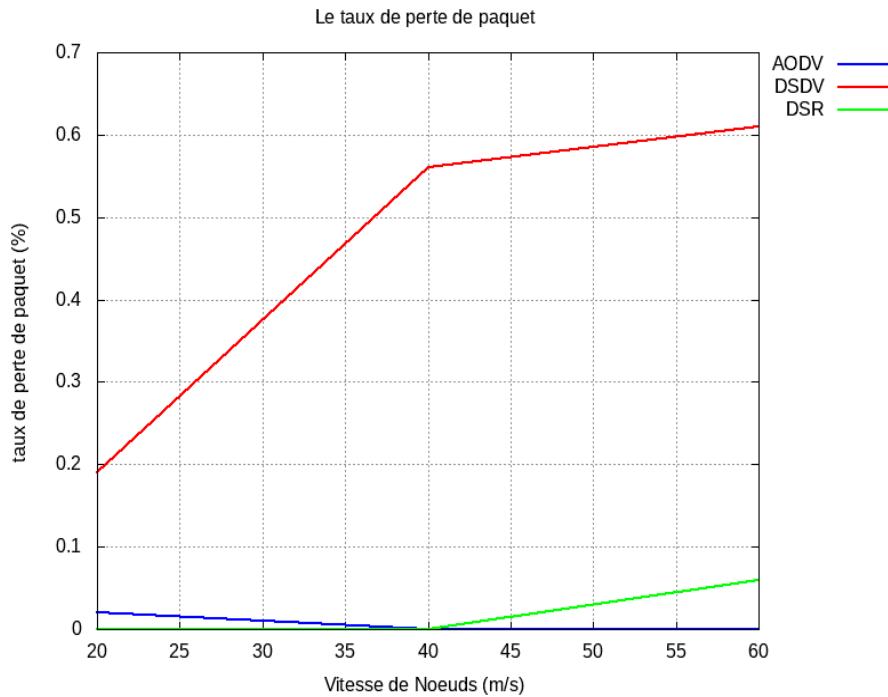


Figure III.13: Taux de perte de paquet en fonction vitesse de nœuds.

AODV est le plus performant en termes de minimisation de la perte de paquets, et sa performance est peu affectée par la vitesse des nœuds. DSR est le deuxième meilleur, avec un taux de perte faible qui augmente progressivement avec la vitesse.

DSDV est le plus sensible à la vitesse, affichant un taux de perte de paquets significativement plus élevé à mesure que la mobilité augmente. Le protocole AODV semble être le choix le plus approprié parmi ces trois protocoles.

d) La gigue :

Nous examinons l'impact de la vitesse des nœuds sur la gigue pour les protocoles AODV, DSDV et DSR. Nous analysons ce que ces courbes nous révèlent :

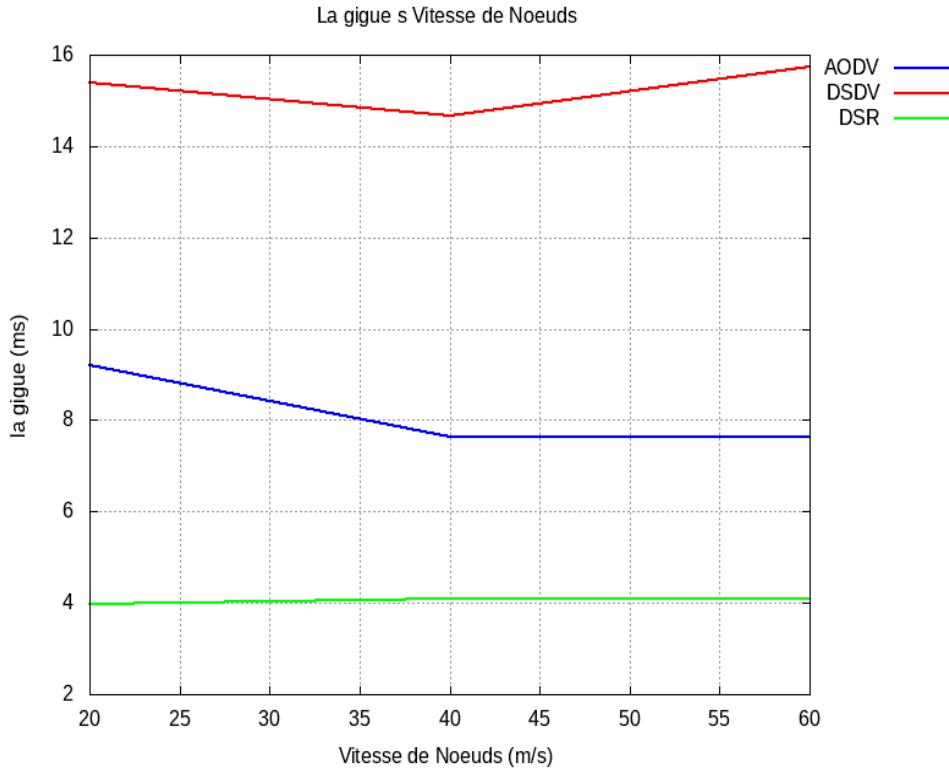


Figure III.14: La gigue en fonction de vitesse de nœuds.

En considérant la métrique du gigue (jitter), le protocole DSR se distingue en offrant les valeurs de gigue les plus faibles et les plus stables sur toute la plage de vitesses des nœuds, ce qui en fait un candidat prometteur et idéal pour les applications sensibles aux variations temporelles.

En revanche, le protocole AODV présente un gigue avec des valeurs modérées qui tendent à diminuer avec l'augmentation de la vitesse de déplacement des nœuds. Quant au protocole DSDV, il affiche les valeurs de gigue les plus élevées et les moins stables, ce qui pourrait poser des défis et causer des problèmes de performance fluide pour les applications en temps réel qui nécessitent une arrivée des données avec un délai constant et régulier.

e) Débit moyen:

La Figure III.15, montre le « débit moyen », la quantité de données transférées avec succès dans une unité de temps, cette métrique change pour les trois protocoles de routage (AODV, DSDV, DSR) à mesure que la « vitesse de nœuds » dans le réseau augmente. L'unité de mesure ici est le kilobit par seconde (kbps).

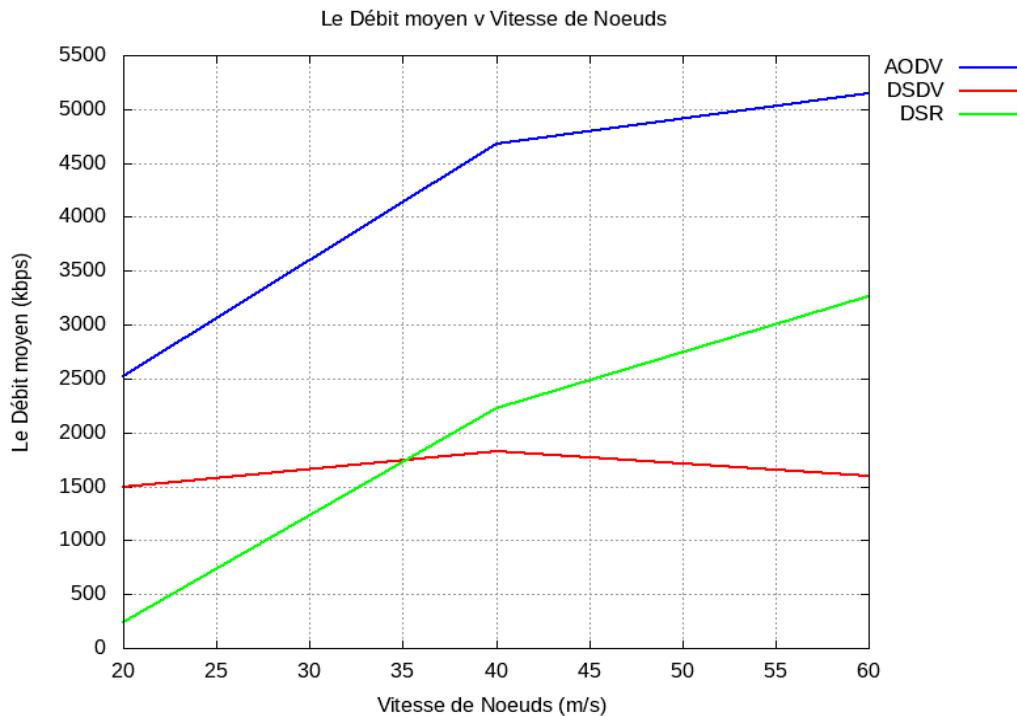


Figure III.15: Le Débit moyen en fonction vitesse de nœuds.

En termes de débit moyen, le protocole AODV se distingue en offrant les performances les plus élevées, et sa capacité de transfert de données tend même à s'améliorer avec l'augmentation de la vitesse des nœuds. Le protocole DSR, quant à lui, démontre une amélioration notable de son débit à mesure que la mobilité des nœuds s'accroît, atteignant des valeurs compétitives avec AODV dans les environnements à haute vitesse.

Enfin, le protocole DSDV présente un débit moyen plus faible et relativement stable sur l'ensemble des vitesses testées, avec une légère tendance à la diminution lorsque la vitesse des nœuds devient élevée.

III.7.2.2. Analyse et évaluation du Scénario n°2 :

Ce scénario étudie les performances des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) sous l'influence d'un autre facteur clé, la densité du réseau, représentée par le nombre de nœuds (véhicules) présents dans une zone donnée. Nous avons analysé les performances de trois protocoles de routage importants, AODV, DSDV et DSR, sur une gamme de mesures importantes.

a) Taux de livraison des paquets :

L'analyse du taux de livraison des paquets en fonction du nombre de nœuds que le DSR semble être le protocole le plus fiable pour la livraison de paquets sur toute la gamme de densités de réseau testées.

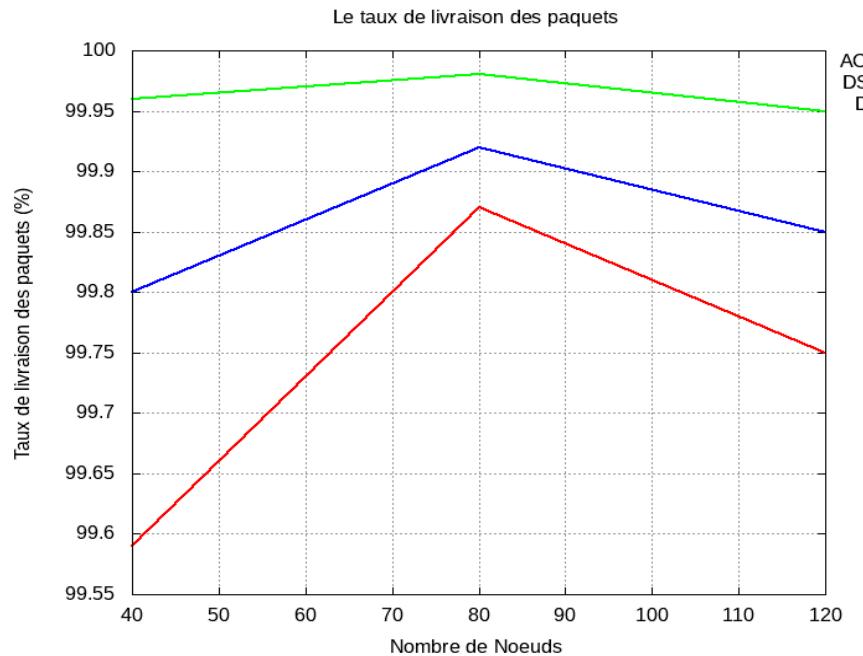


Figure III.16: Taux de livraison de paquets en fonction de nombre de nœuds.

Alors que l'AODV fonctionne bien, les performances du DSDV semblent être plus sensibles au nombre de nœuds, s'améliorant à des densités moyennes mais se détériorant considérablement à des densités plus élevées.

b) Délai moyen :

La Figure III.17, présente le délai moyen de bout-en-bout (en secondes) en fonction du nombre de noeuds dans le réseau (de 40 à 120), pour les protocoles AODV, DSDV et DSR :

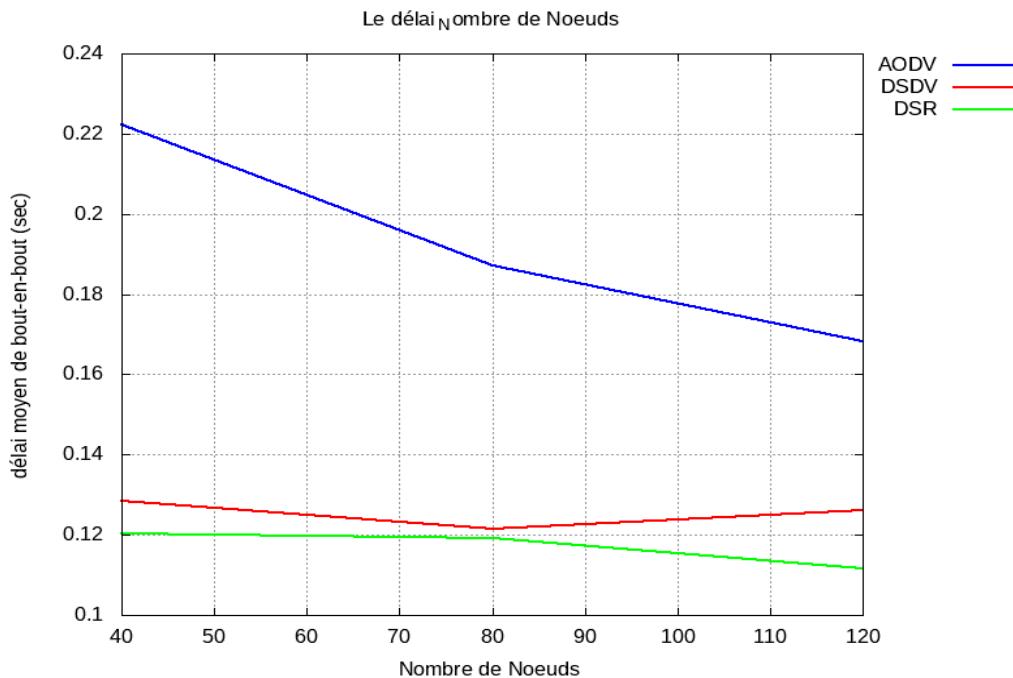


Figure III.17: Délai moyen de bout-en-bout en fonction vitesse de noeuds.

Nous remarquons d'après la Figure III.17 que Le protocole DSR se caractérise par un délai moyen de bout-en-bout extrêmement faible et stable, indépendamment du nombre de noeuds. AODV voit son délai diminuer avec l'augmentation de la densité du réseau, tandis que DSDV maintient un délai relativement constant mais plus élevé que celui de DSR.

c) Taux de perte de paquet :

Nous notons que, Le protocole DSR se distingue par un taux de perte de paquets faible. quelle que soit la densité du réseau considérée. AODV présente un taux de perte faible avec une légère variation en fonction du nombre de nœuds (Figure III.18).

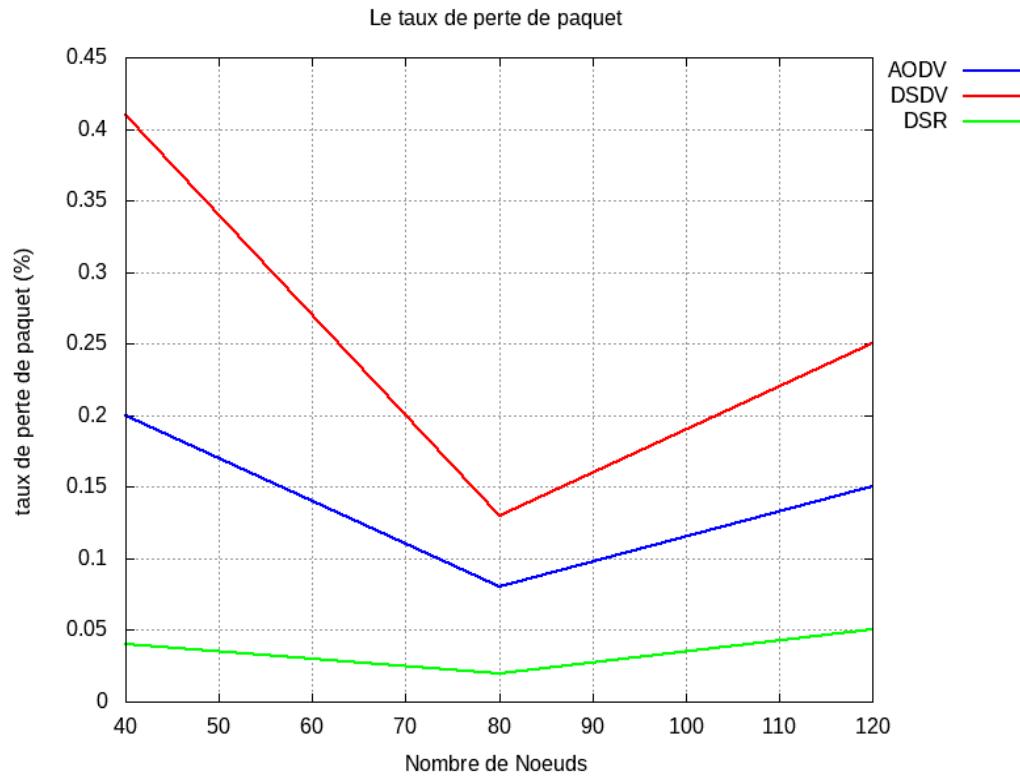


Figure III.18: Taux de perte de paquet en fonction nombre de nœuds.

DSDV affiche un taux de perte significativement plus élevé que les deux autres protocoles, avec une tendance à diminuer puis à augmenter avec la densité du réseau.

e) La gigue :

On observe sur la Figure III.19, que la gigue du protocole AODV commence à un niveau relativement bas et diminue progressivement à mesure que le nombre de nœuds dans le réseau augmente. En revanche, le protocole DSDV présente le niveau de gigue le plus élevé, et cette gigue s'aggrave à mesure que le nombre de nœuds augmente.

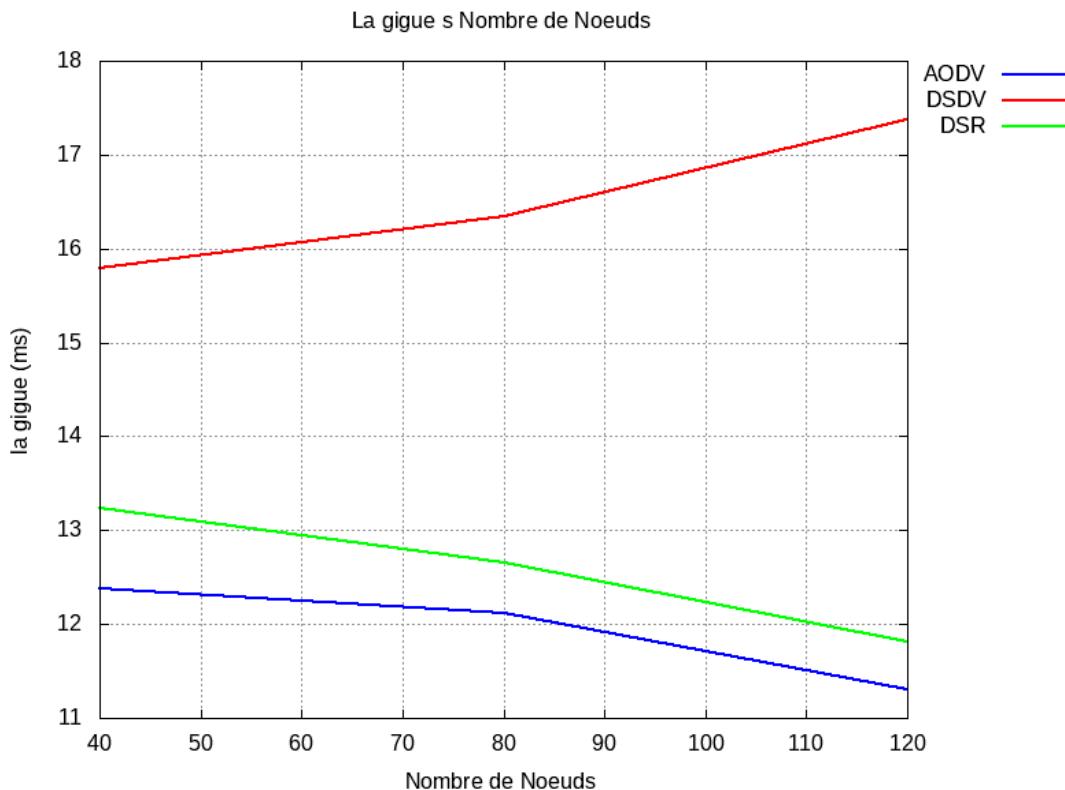


Figure III.19: La gigue en fonction de nombre de nœuds.

Le protocole DSR offre initialement des performances de gigue moyennes, mais diminue progressivement à mesure que le nombre de nœuds augmente, indiquant une meilleure régularité des paquets à mesure que la densité du réseau augmente.

d) Débit moyen :

Sur le Figure III.20, nous constatons que l'AODV présente les meilleures performances en termes de débit dans les réseaux à forte densité de nœuds (après 100 nœuds). DSDV atteint le débit le plus élevé à des densités moyennes (environ 80 nœuds), mais ses performances diminuent relativement à des densités plus élevées.

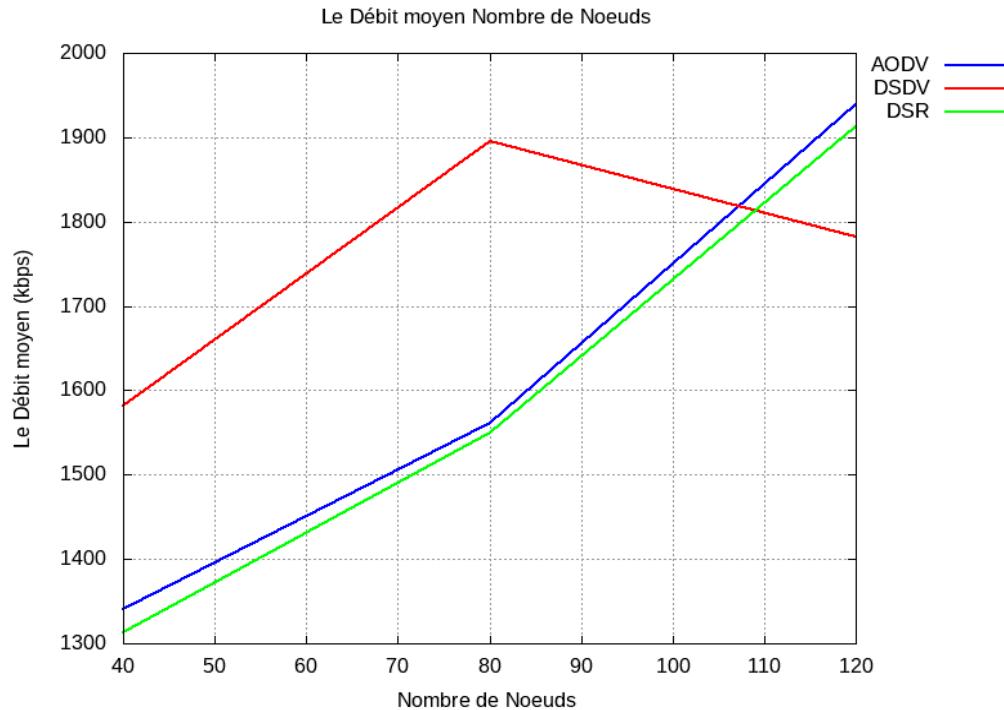


Figure III.20: Le Débit moyen en fonction nombre de nœuds.

DSR démarre avec le débit le plus faible, mais rattrape les autres protocoles et fonctionne bien dans les réseaux denses.

III.7.2.1 Étude comparative:

Le tableau III.4 présente un résumé des métriques d'évaluation des performances des protocoles de routage du réseau VANET à travers deux scénarios :

Tableau III.4: Analyse comparative des performances des protocoles de routage.

Protocole de routage	Scénario	Taux de livraison des paquets	Délai Moyen	Taux de perte des Paquets	la gigue	Débit moyen
AODV	Scénario 1	Élevé et stable	Diminue puis se stabilise (plus élevé à basse vitesse)	Faible et stable	Diminue puis stable (bas)	Augmente significativement
	Scénario 2	Très bon	S'améliore avec densité	Bon	Bon s'améliore	Très bon avec densité
DSDV	Scénario 1	Diminue (surtout à haute vitesse) Relativement stable	Relativement stable	Augmente significativement	Relativement élevé et stable	Relativement stable puis diminue
	Scénario 2	Bon à moyen (baisse avec haute densité)	Moyen stable	Moyen à mauvais (augmente aux extrêmes)	Moyen augmente	Bon à moyen (baisse avec haute densité)
DSR	Scénario 1	Très élevé et stable	Faible et stable	Très faible et stable	Très faible et stable	Augmente constamment
	Scénario 2	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon	Très bon avec densité

-Scénario 1 : Dans les environnements VANET avec des vitesses variables, AODV offre un bon équilibre entre la fiabilité (bonne livraison et faible perte de paquets) et un débit qui s'améliore avec la vitesse. Bien que son délai puisse être légèrement plus élevé que celui de DSR, il s'adapte bien au trafic variable. DSR excelle particulièrement dans la réduction de la latence et de la gigue, avec de bonnes performances de débit à haute vitesse, tandis que DSDV peine à maintenir un bon niveau de performance avec l'augmentation de la vitesse.

-Scénario 2: Dans les scénarios VANET à haute densité de nœuds, le protocole DSR se distingue par sa stabilité et ses performances supérieures, assurant une livraison optimale des paquets, un faible délai, une perte de paquets minimale et une amélioration de la gigue avec l'augmentation de la densité. Le protocole AODV offre de bonnes performances, en particulier dans les réseaux denses, avec un débit élevé et une gigue faible, bien qu'il soit moins stable que DSR. En revanche, DSDV montre des performances dégradées à haute densité, avec une perte de paquets accrue, un délai plus important et une gigue plus élevée, ce qui le rend plus adapté aux réseaux à densité moyenne.

III.8 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents outils et bibliothèques utilisés dans notre simulation. Nous avons ensuite abordé la section de simulation où nous avons présenté l'implémentation du réseau VANET sous NS2. Pour conclure, nous avons discuté des métriques calculées pour évaluer les performances des protocoles de routage dans un environnement VANET.

On a pu observer que, dans la plupart des situations, DSR semble être plus performant en termes de latence et de stabilité les plus faibles, tandis qu'AODV offre les meilleures performances en termes de fiabilité de livraison de paquets et de débit élevé, en particulier dans les réseaux plus grands. DSDV, en revanche, présente des performances irrégulières et dépend fortement de la taille du réseau, ce qui le rend moins préférable que les deux autres protocoles dans la plupart des scénarios que nous avons étudiés.

Conclusion

Générale

Conclusion Générale

Les réseaux VANET (Vehicular Adhoc Networks) est une nouvelle technologie émergente qui intègre les fonctionnalités de la nouvelle génération de réseaux sans fil pour les véhicules. Dans le monde contemporain, les réseaux des voitures jouent un rôle significatif. C'est un domaine très intéressant et de recherche d'actualité. En effet, l'objectif de ces systèmes de transport intelligents est d'améliorer la sécurité routière et la sûreté des passagers et de fournir de nombreux services et facilités aux usagers routiers.

Il s'agit d'une nouvelle catégorie de réseau dérivée des réseaux mobiles ad hoc (MANET). Ce qui les rend uniques, c'est la possibilité de communication entre véhicules, ou entre un véhicule et une infrastructure routière. La nature hautement dynamique de la topologie du réseau complique le maintien des informations sur les nœuds.

Effectivement, le routage joue un rôle crucial pour diriger ces données vers leur destination appropriée. De plus, la mobilité est bien plus restreinte comparée aux réseaux ad hoc classiques.

Ce mémoire se concentre sur la modélisation des réseaux véhiculaires, où nous avons examiné le protocole AODV et DSR, appartenant à la catégorie des protocoles réactifs, ainsi que le protocole DSDV, qui fait partie des protocoles proactifs destinés aux MANETs dans le contexte des réseaux VANET. Nous avons démontré l'impact d'une représentation réaliste de la mobilité sur ces protocoles. Il a été constaté que les performances du réseau diminuent avec l'augmentation de la densité et de la vitesse des véhicules.

Effectivement nous avons observé qu'aucun protocole de routage n'est universellement "meilleur" dans les réseaux VANET. DSR excelle dans la réduction du délai et de la gigue, tandis qu'AODV offre de bonnes performances en termes de débit et de fiabilité avec les vitesses variables. DSDV, quant à lui, peine dans les environnements dynamiques et denses. Cela s'explique par le fait que la topologie du réseau change constamment à cause des différences de vitesse entre les véhicules, ce qui provoque des modifications rapides et fréquentes dans la structure du réseau. De plus, la connectivité entre les véhicules n'est pas toujours stable, elle peut être partielle ou interrompue. Cela montre que les méthodes de routage classiques utilisées dans les MANET ne sont pas toujours adaptées aux réseaux

VANET. Il serait donc intéressant d'analyser plus en profondeur les mécanismes de routage, en s'intéressant aux protocoles plus récents qui utilisent les informations de position géographique pour choisir le meilleur chemin.

Notre étude constitue un point de départ solide pour approfondir la compréhension et l'élaboration des protocoles de routage géographiques.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] CHERFAOUI NADIA , « Intégration de l'application ‘vanet-highway’ dans le simulation réseau NS3 » , Mémoire de Master 2 en informatique ,Université de MOULOUD MAMMERI TIZI-OUZOU, 2014.
- [2] BILAMI AZEDDINE « Prise en Compte de la QoS par les Protocoles de Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc », Mémoire de Magistère en Informatique, Université de El Hadj Lakhdar de Batna, 2007-2008.
- [3] KARIM BELHADJ, AMINA ABID « Etude et réalisation d'un réseau WiFi hotspot dans le service public », Mémoire de fin d'études, Université de MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU, 2011 / 2012.
- [4] ADRIEN VAN DEN BOSSCHE, « Proposition d'une nouvelle méthode d'accès déterministe pour un réseau personnel sans fil à fortes contraintes temporelles », thèse doctorat de l'université de TOULOUSE II, 2007.
- [5] S.TALBI, « Elaboration d'un protocole de routage efficace en énergie pour les réseaux de capteurs sans fil », Mémoire de Master ,Université de MOULOUD MAMMERI DE TIZI OUZOU ,2012/2013.
- [6] BENMOSTEFA NAIMA, « Dimensionnement D'un Réseau Sans Fil Wifi », MEMOIRE d'Ingénieur d'Etat en Télécommunications, Université de ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN, 2011-2012.
- [7] BELAIDL HADJIRA, « Design and implementation of a LoRamesh network », Mémoire de Master en Informatique, Université de M'Hamed BOUGARA – Boumerdes, 2020/2021.
- [8] SAADI MUSTAPHA, « Le problème du consensus dans les réseaux mobiles ad hoc », Mémoire de Master Recherche en Informatique, Université de Abderrahmane Mira de Béjaïa, 2015/2016.

- [9] LABRAOUI NABILA, « Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (V2V) », Mémoire de Master en Informatique, Université de Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2014-2015.
- [10] REMI BADONNEL, « Supervision des Réseaux et Services Ad-Hoc », Thèse de Doctorat, Université Henri Poincaré – Nancy 1, Année 2007.
- [11] MOHIT KUMAR, « An Overview of MANET: History, Challenges and Applications », Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), vol 3; No 1, Feb-Mar 2012.
- [12] LU HAN, « Wireless Ad-hoc Networks », 2004.
- [13] RICHARD GILLES ENGOULOU, Martine Bellaïche, Samuel Pierre, Alejandro Quintero « VANET security surveys », Computer Communications journal, 2014.
- [14] SHERALI ZEADALLY ·RAYHUNT· YUH-SHYAN CHEN ANGELA IRWIN·AAMIR HASSAN, « Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges », Springer Science+Business Media, LLC 2010.
- [15] HAMOU CHEHRI, « Étude et caractérisation d'un canal de propagation pour les réseaux vanet », Mémoire d'ingénierie, Université de QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE, 2014.
- [16] M. DRING. SAOUD BILAL, « Évaluation des protocoles de routage dans les réseaux de capteurs sans fil (RCSF) », Mémoire de Master en télécommunication, Université de Akli Mohand Olhaj / Bouira, 2017/2018.
- [17] ALOUI ABDELOUHAB, « Routage et simulation dans les réseaux mobiles ad hoc », Mémoire de master professionnel en Informatique, Université de A/Mira de Béjaia, 2016 – 2017.

- [18] HADJILA MOURAD, « Simulation d'un réseau MANET avec OPNET »,Mémoire de MASTER en Réseaux mobiles et services de télécommunications, Université de ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN,2014-2015.
- [19] BADACHE NADJIB, « Optimisation de la consommation d'énergie pour le routage dans les réseaux mobiles ad hoc »,Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene , 2003.
- [20] M. MAHMOUDI, « Un protocole de routage optimisé dans les réseaux Ad Hoc »,Mémoire de Master en Informatique ,Université de Tébessa, 2015 /2016.
- [21] MEHAOUED KAMEL, « Etude et simulation des deux protocoles de routage proactifs (OLSR,DSDV) dans le cadre des réseaux sans fil ad hoc »,Mémoire de Master en Informatique,,Université de Abderrahmane Mira de Bejaia, 2015/2016.
- [22] BEKKAR Khaled, « Analyse les modèles de mobilité utilisées dans les protocoles de routages réactifs dans les MANE », Mémoire de Master en Informatique,Université de IBN KHALDOUN – TIARET ,2020-2021
- [23] VALERIE GAYRAUDL, LOUTFI NUAYM, FRANCIS DUPONT, SYLVAIN GOMBAULT, and BRUNO THARON , « La Sécurité dans les Réseaux Sans Fil Ad Hoc ».
- [24] Mr. KHANOUS, « Sécurité dans les réseaux Ad Hoc Wormhole », Mémoire de Master,Université de A/Mira de Béjaïa,2012/2013.
- [25] ABDOURAHIM GAYEb « Proposition d'algorithmes sécurisés pour renforcer la coopération dans le routage des réseaux mobiles ad hoc »,Réseaux et télécommunications [cs.NI]. Université Cheikh Anta Diop de Dakar, 2016.
- [26] AMIOUR MEDTAHAR, BILAMI AZEDDINE « AODV extension using multi point relay for high performance routing in VANETS », 2012.

- [27] Mr.NASAAN SAMIR, « Gestion du trafic routier urbain de la ville de Tiaret à l'aide de la technologie VANET », Mémoire de Master en Informatique, Université de IBN KHALDOUN - TIARET, année..
- [28] SOFIANE ZAIDI, « Evaluation and comparison between routing protocols for video streaming in Vehicular Ad-hoc NETwork (VANET) », Mémoire de MASTER en Informatique, Université de LARBI BEN M9HIDI, OUM EL BOUAGHI, 2019/2020.
- [29] BENMIR ABDELKADER « Amélioration d'un Protocole de Routage Basé Sur la localisation géographique GPSR pour les VANETs », Mémoire de Master en Information , Université de Kasdi Merbah-Ouargla, 2017-2018.
- [30] M.MAHMOUDI, “Impact of Mobility on Reliability of AODV routing Protocol IN Ad Hoc Networks”, Master’s Thesis In Networks and Security, University of Tebessa ,2016/2017
- [31] BOUSBAA FATIMA ZOHRA, « Apport des protocoles de routage geocast au confort des passagers dans les réseaux de véhicules », Mémoire de Master en Informatique, Université de AMAR TELIDJI LAGHOUAT, 2015/2016.
- [32] BAKKAR KHALED, « Simulation et analyse de protocoles de routage dans les réseaux VANET », Mémoire de Master en Informatique, Université de IBN KHALDOUN - TIARET, 2019.
- [33] ABDELMAGJID ZIDANI, « La sécurité des communications dans les réseaux VANET », Mémoire de Magister en Informatique , Université de ELHADJ LAKHDER – BATNA.

- [34] FEHAM MOHAMMED, « Les protocoles de routage géographique et les services de localisation dans les réseaux VANETS », Thèse de Doctorat, Université de ABOU-BEKR BELKAID -TLEMCEN; 2019.
- [35] SHIPIDHANKHAR ,SHILPY AGRAWAL, « VANETs: A Survey on Routing Protocols and Issues », International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, , vol 3, page 6, 2014.
- [36] FABIEN GARCIA, « Mise en œuvre d'un réseau adhoc sous linux embarqué », Mémoire de Master, Université de PAUL SABATIER Toulouse, 2010-2011.
- [37] MARZAK BOUCHRA, HICHAM TOUMI, MOHAMED TALEA, ELHABIB BENLAHMAR, « Réseaux ADHOC véhicules : Vers une dissémination de données efficace, coopératives et fiable », Université Hassan II - Mohammedia – Casablanca, Maroc, 25 July 2017.
- [38] Pr. MELIT ,« Routage dans les réseau VANET », Mémoire de Master en Informatique, Université de de Mohamed Sadik BENYAHIA - JIJEL, 2015/2016.
- [39] Mr T. MEKHAZNIA, « Une plateforme de simulation sous OMNET++ pour diffuser les informations sur le trafic dans les architectures VANETs Cloud », Mémoire de MASTER : en Informatique, Université de Larbi Tébessi - Tébessa, année.
- [40] Dr. ACHELI DALILA, « Routage dans les reseaux vehiculaires (vanet) cas d'un environnement type ville », Mémoire de Magisteren Informatique, Université M'HAMED BOUGARA - BOUMERDES, 2011.
- [41] KHARROUBI SAHRAOUIS, « Simulation d'un réseau Ad Hoc véhiculaire(VANET) Application à la circulation routière », Mémoire de Master Spécialité : Réseau et télécommunication , Université de IBN KHALDOUN - TIARET, 2020-2021.

[42] N. TASSOULT , « Simulation et évaluation des performances des protocoles de routage (GPSR, DSR et DSDV) dans les réseaux VANETs », Mémoire deMaster en Informatique , Université de A/Mira de Béjaia, 2017.

