

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعلیم العالی والبحث العلمی

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Télécommunications

**Spécialité** : Réseaux et Télécommunications

**Par** : **BERRAHMA Nassima** et **BEHLOUL Ibtissem**

**Sujet**

***Simulation et évaluation d'un protocole de dissémination  
de données VANET sur la ville de Tlemcen***

Soutenu publiquement en juin 2023, devant le jury composé de :

Mme BENOSMAN .H	MCA	Université de Tlemcen	Présidente
Mr BERKAT. A	MCA	Université de Tlemcen	Examineur
Mme SEDJELMACI. A	MCB	Université de Tlemcen	Encadreure

Année universitaire : 2022 /2023

# *Remerciement*

*Avant d'entamer mon présent mémoire, je remercie tout d'abord Dieu de m'avoir accordé la connaissance, le courage, la patience et la santé nécessaires pour mener à bien ce projet de fin d'étude.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre merveilleuse promotrice, Madame « SEDJELMACI Amina Nadjet », de l'université de Tlemcen. Sa précieuse aide et ses conseils tout au long de ce travail ont grandement contribué à améliorer nos connaissances. Nous sommes reconnaissants de sa patience et de sa compréhension face aux diverses situations auxquelles nous avons été confrontés lors de l'élaboration de ce travail.*

*Nous souhaitons également exprimer nos remerciements aux membres du jury qui ont consacré leur temps et ont accepté de juger ce modeste travail. Nous adressons nos remerciements particuliers à la présidente du jury, Madame « BENOSMAN Hayat », ainsi qu'à Monsieur « BERKAT Abdelatif », pour leur précieuse contribution et leur évaluation éclairée de notre travail.*

*Nous exprimons également notre gratitude envers nos enseignants qui nous ont accompagnés tout au long de notre cursus universitaire.*

## *Merci à tous*

# *Dédicace*

*À la meilleure des mères*

*Quoi que je fasse ou quoi je dise, je ne saurai point de remercier comme il le doit, ta présence à mes coté, ton effort, ton affection, ta bienveillance me guide tu as été toujours ma source de force. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant mon parcours d'études, en ce jour merveilleux et mémorable je te dédie ce travail en signe de reconnaissance et de remerciement.*

*Je prier Dieu Tout Puissant de te donner la santé, et te garder une place en paradis et de te protège de tout mal.*

*À Mon père, Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que j'ai toujours eu pour toi. Rien au monde ne vaut les efforts fournis pour mon éducation et mon bien être. Ce travail est le fruit de tes sacrifices que tu as consentis pour mon éducation et ma formation.*

*À mon frère AHMED Pour leur amour, leur encouragement, leurs conseils, leur soutien, leur confiance en moi.*

*À Mes chères sœurs IKHLES et SAFAE pour leur amour, leur amitié et leur encouragement.*

*À mon cher binôme IBTISSEM par sa présence et son soutien durant ce long travail.*

*À toute ma famille.*

*À mon fiancé D.K et ma belle-famille sur tout KHADIDJA et MERIEM.*

*À mes proches RADJA, FATIMA, AMEL.*

*À tous mes amis.*

*À tous les étudiants de Master 2 en Réseaux et Télécommunications et à tous les enseignants, merci pour votre précieuse contribution et votre dévouement.*

*Nassima*

# *Dédicace*

*J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail réalisé grâce à l'aide de dieu tout puissant.*

*Je dédie ce travail A :*

*À ma mère, qui a œuvré pour ma réussite par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils. Je lui exprime à travers ce travail, aussi modeste soit-il, mes sentiments et ma gratitude éternelle pour son assistance et sa présence dans ma vie.*

*À mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Ce travail porte ses fruits et je le remercie pour les valeurs nobles qu'il m'a inculquées, ainsi que pour l'éducation et le soutien constants qu'il m'a apporté.*

*Je souhaite adresser une dédicace spéciale à mon frère Samir, ainsi qu'à mes sœurs Leila, Sara, Amel et Fatima. Votre soutien et vos encouragements sont inestimables, et vous occupez une place particulière dans mon cœur. Je vous dédie ce travail en vous souhaitant un avenir radieux, empli de bonheur et de réussite. Je pense également à mes neveux et nièces, et je leur envoie mes pensées affectueuses.*

*Je dédie ce travail à mon binôme « Berrahma Nassima », pour notre collaboration étroite et notre réussite commune. Merci d'avoir été là à chaque étape.*

*À tous les étudiants de Master II en Réseaux et Télécommunications et à tous les enseignants, merci pour votre précieuse contribution et votre dévouement.*

*Ibtissem*

## Résumé

Le réseau véhiculaire (VANET) est une forme émergente de réseau ad-hoc mobile (MANET) qui permet aux véhicules de communiquer directement entre eux ou via une infrastructure située au bord de la route. Cependant, la dissémination de l'information dans les VANET est un défi complexe, car elle doit prendre en compte la dynamique de l'environnement et la mobilité élevée des nœuds du réseau. Dans ce mémoire, nous avons mis en évidence l'impact du choix d'un plan urbain sur les résultats de la simulation VANET avec le logiciel Veins qui fait appel au simulateur de réseau OMNet++ couplé au simulateur du trafic SUMO. En premier lieu nous avons réalisé une simulation sur le plan Manhattan tout en explorant la performance du protocole existant bien connu dans la littérature (TrAD). En deuxième lieu, nous avons simulé le même protocole TrAD au sein d'un plan d'une ville urbaine réelle, plus précisément sur le plan de la ville de Tlemcen. En dernier lieu, nous avons comparé et discuté les résultats obtenus dans les deux simulations.

**Mots clés :** Réseaux ad hoc véhiculaires (VANET), protocole de disséminations des données, SUMO, OMNET++, Veins.

## Abstract

The Vehicular Ad-Hoc Network (VANET) is an emerging form of Mobile Ad-Hoc Network (MANET) that enables vehicles to communicate directly with each other or through roadside infrastructure. However, disseminating information in VANETs is a complex challenge as it needs to consider the dynamic environment and high mobility of network nodes. In this thesis, we highlight the impact of choosing an urban layout on VANET simulation results using the Veins software, which utilizes the OMNet++ network simulator coupled with the SUMO traffic simulator. Firstly, we conducted a simulation on the Manhattan layout while exploring the performance of the well-known existing protocol in the literature (TrAD). Secondly, we simulated the same TrAD protocol within the layout of a real urban city, specifically the city of Tlemcen. Lastly, we compared and critiqued the results obtained from both simulations.

**Keywords:** Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs), data dissemination protocol, SUMO, OMNet++, Veins.

**ملخص:** الشبكة المركبة المحمولة (VANET) هي شكل ناشئ من الشبكات المخصصة المحمولة (MANET) التي تمكّن المركبات من التواصل مباشرة مع بعضها البعض أو من خلال بنية تحتية على جانب الطريق. ومع ذلك، فإن نشر المعلومات في شبكات VANET يشكل تحدياً معقداً حيث يجب أن يأخذ في الاعتبار ديناميكية البيئة وحركة عالية لعقد الشبكة. في هذا الرسالة، نسلط الضوء على أثر اختيار تصميم حضري على نتائج محاكاة VANET باستخدام برنامج Veins الذي يعتمد على محاكي الشبكة OMNet++ المقترن مع محاكي حركة SUMO.

أولاً، أجرينا محاكاة على تصميم منهاتن مع استكشاف أداء البروتوكول المعروف الموجود في الشبكة. ثانياً، قمنا بمحاكاة نفس البروتوكول TrAD داخل تصميم مدينة حضرية حقيقية، وتحديدًا تصميم مدينة تلمسان. في النهاية، قمنا بمقارنة ونقد النتائج التي تم الحصول عليها من كلتا المحاكات.

**الكلمات الدالة:** الشبكات المخصصة المحمولة المركبة (VANETs) ، بروتوكول نشر البيانات، SUMO،

OMNet++، Veins.

## Table des matières

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur les réseaux VANETs	
I.1 Introduction.....	4
I.2 Définition.....	5
I.3 Les différents types de communication.....	5
I.3.1 Communication véhicule véhicule (v2v) .....	6
I.3.2 Communication véhicule à infrastructure (V2I) .....	6
I.3.3 Communication hybride.....	7
I.4 Caractéristique.....	8
I.5 Architecture VANET.....	9
I.6 Applications des réseaux VANETs.....	11
I.7 Les problématiques dans les VANET.....	12
I.8 Norme et standard.....	13
I.8.1 Les réseaux cellulaires.....	14
I.8.2 IEEE 802.11p.....	14
I.8.3 Wave.....	16
I.8.4 ITS (European Telecommunications Standards Institute Intelligent Transport Systems) .....	17
I.9 Conclusion.....	18
Chapitre II : Protocole de diffusion de données adapté au trafic	
II.1 Introduction.....	20
II.2 Classification des protocoles de communication des VANETs.....	20
II.2.1 Protocoles unicast.....	21
II.2.2 Protocoles multicast.....	21
II.2.3 Protocoles geocast.....	21
II.2.4 Protocoles broadcast.....	21
II.3 Mécanismes de base de diffusion.....	22
II.4 Stratégies de diffusion .....	24

II.4.1 Diffusion à un-saut.....	26
II.4.2 Diffusion multi-sauts .....	26
II.4.2.1 Diffusion multi-sauts basée sur le délai.....	26
II.4.2.2 Diffusion multi-sauts basée sur la probabilité.....	28
II.5 Protocole de diffusion de données adapté au trafic.....	29
II.5.1 Travaux connexes.....	29
II.5.1.1 Technique de suppression de la diffusion.....	29
II.5.1.2 Mécanisme de stockage, de transport et de transmission.....	30
II.5.2 Diffusion de données sur l'adaptation du trafic.....	30
II.5.2.1 Technique de suppression de la diffusion.....	32
II.5.2.2 Mécanisme SCF (Store-Carry-Forward) .....	35
II.6 Conclusion .....	38

### Chapitre III :Simulations et Discussion des Résultats

III.1 Introduction.....	40
III.2 Classification des simulateurs VANETs.....	40
III.2.1 Les Simulateurs de mobilité.....	41
III.2.2 Les Simulateurs de réseau.....	43
III.2.3 Les Simulateurs VANET.....	45
III.3 Environnement de travail.....	46
III.3.1 Système d'exploitation.....	46
III.3.2 OMNeT++ 4.6.....	46
III.3.2.1 Architecture d'OMNeT++.....	46
III.3.3 Le simulateur de mobilité SUMO 0.25.0.....	47
III.3.4 VEINS Framework 4.4.....	47
III.3.5 La liaison OMNET++, VEINS et SUMO.....	48
III.4 Etapes de la simulation.....	49
III.4.1 Simulation dans la ville de Tlemcen.....	49
III.4.2 Simulation du plan de Manhattan.....	53
III.4.2.1Création du réseau.....	53



III.4.2.2 Génération des véhicules.....	53
III.4.3 Lancement de la simulation.....	54
III.5 Les métriques de performance.....	57
III.6 Paramètres de simulation.....	57
III.7 Résultats de la simulation et discussion.....	58
III.8 Conclusion.....	60
Conclusion générale.....	61
Bibliographie.....	62

## Liste des figures

<b>Figure I.1.</b> Un exemple de réseaux VANET.....	4
<b>Figure I.2.</b> Hiérarchie des réseaux sans fil .....	5
<b>Figure I.3.</b> Architecture de communication V2V .....	6
<b>Figure I.4.</b> Architecture de communication V2I .....	7
<b>Figure I.5.</b> Architecture de communication hybride .....	7
<b>Figure I.6.</b> Les éléments constituant le véhicule intelligent .....	9
<b>Figure I.7.</b> On Board Unit (OBU) .....	10
<b>Figure I.8.</b> Road Side Unit .....	10
<b>Figure I.9.</b> Affectation des canaux de WAVE (a) et de ETSI ITS (b) .....	15
<b>Figure I.10.</b> Suite de protocoles WAVE pour les communications DSRC .....	16
<b>Figure I.11.</b> Architecture de l'ETSI ITS .....	17
<b>Figure II.1.</b> Classification des protocoles de VANETs .....	20
<b>Figure II.2.</b> Les différents modes de communication .....	22
<b>Figure II.3.</b> Classification des protocoles de diffusion dans les VANETs .....	25
<b>Figure II.4.</b> Illustration du protocole TrAD .....	31
<b>Figure II.5.</b> Le processus de tri de la liste de priorités .....	35
<b>Figure II.6.</b> L'organigramme de l'identification du disjoncteur .....	36
<b>Figure III.1.</b> Classification des simulateurs VANET .....	40
<b>Figure III.2.</b> Architecture modulaire du simulateur OMNeT++ .....	46
<b>Figure III.3.</b> Architecture générale de Veins .....	48
<b>Figure III.4.</b> Architecture de l'environnement de travail .....	48
<b>Figure III.5.</b> Zone sélectionnée par OSM .....	49
<b>Figure III.6.</b> Création d'un réseau de zones sélectionnées .....	50
<b>Figure III.7.</b> Fichier de trajets flows.xml .....	51
<b>Figure III.8.</b> Fichier des route du réseau trips.trips.xml .....	52

<b>Figure III.9.</b> Fenêtre de la simulation de la carte de Tlemcen sur SUMO .....	52
<b>Figure III.10.</b> Fenêtre de la simulation de la carte de Manhattan .....	54
<b>Figure III.11.</b> Ouverture et écoute sur le port TCP 9999 .....	55
<b>Figure III.12.</b> Exécution omnetpp.ini .....	55
<b>Figure III.13.</b> Fenêtre de la simulation de OMNet++ .....	56
<b>Figure III.14</b> Fenêtre de la simulation de la carte de Tlemcen sur SUMO .....	56
<b>Figure III.15.</b> Comparaison entre la couverture de TRaD dans les plans de Tlemcen et Manhattan .....	59

## Liste des tableaux

<b>Tableau III.1.</b> Comparaison entre les simulateurs de mobilité .....	42
<b>Tableau III.2.</b> Comparaison entre les simulateurs de réseaux .....	44
<b>Tableau III.3.</b> Comparaison entre les simulateurs de VANET .....	45
<b>Tableau III.4.</b> Paramètres de la simulation (VEINS) .....	58

## **Listes des acronymes et abréviations**

AU: Application unit

ECN: Electronic Chassis Number

ELP: Electronic License Plate

GPS: Global Positioning System

GPCR: Greedy Perimeter Coordinator Routing

GUI: Graphical User Interface

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers

ITS: Institute of Electrical and Electronics Engineers

IVC: Inter-Vehicle Communication

LTE: Long Term Evolution

MAC: Medium Access Control

MANET: Mobile Ad Hoc Network

NED: (Network Description Language)

NS-2: Network Simulation -2

NS3: Network Simulation -3

OBU: On board unit

OSI: Open Systems Interconnection

PHY: Physical layer

QoS: Quality of Service

ROI: Range of Interest

RSU: Road Side Unit

SUMO: Simulation of Urban Mobility

SRD: Simple and Robust Dissemination

TraCI: Traffic Control Interface (SUMO)

TrAD: Traffic Adaptive Data dissemination protocol

TIS: Traffic Information System

TTL: Time to Live

TPC: Transmit Power Control

UV-CAST: Urban Vehicular BroadCAST

VANET: Vehicle Ad Hoc Network

V2V: Vehicle to Vehicle

V2I: Vehicle to Infrastructure

V2X: Vehicle to X (pedestrian, bicycle)

VEINS: Vehicular Network Simulation Framework

VNS: Vehicular Network Simulator

WSN: Wireless Sensor Network

WIFI: Wireless Fidelity

XML : Extensible Markup Language

## **Introduction générale**

L'évolution technologique à l'échelle mondiale a engendré d'importantes avancées dans tous les domaines, notamment les communications, qui ont connu une transformation significative grâce à l'émergence des technologies sans fil. Dans ce contexte, le secteur du transport a également bénéficié de ces avancées, notamment avec l'introduction d'une nouvelle technologie permettant la communication entre les véhicules : les réseaux VANET (Vehicular Ad-Hoc NETWORK).

Le réseau VANET (véhicule ad hoc network) a pour objectif principal de gérer le trafic routier, d'améliorer l'aide à la conduite, de garantir la sécurité routière et de favoriser la fluidité du trafic. Il repose sur l'utilisation de capteurs et d'un système de géo localisation qui permettent de mesurer la vitesse et la distance entre les véhicules. De plus, des microcontrôleurs ou même des microprocesseurs sont utilisés pour traiter les informations collectées par les capteurs. Ces informations permettent aux véhicules de réagir de manière adéquate aux événements inattendus sur la route.

Les simulateurs et la simulation offrent de nombreux avantages par rapport à la réalisation de tests et d'expériences dans le monde réel. Elle est plus économique, moins risquée, offre un meilleur contrôle, permet d'étudier des scénarios complexes, permet de gagner du temps et peut être une option plus éthique dans certaines situations. Cependant, il est important de noter que la simulation doit être validée et calibrée avec des données réelles pour garantir sa pertinence et sa fiabilité.

L'objectif de ce mémoire se concentre sur la simulation, l'évaluation fonctionnelle et la comparaison d'un protocole de dissémination adaptative des données VANET (TrAD) avec le simulateur Veins dans deux différentes villes qui sont Manhattan et la ville de Tlemcen.

Notre mémoire est organisé en trois chapitres comme suit :

Dans le premier chapitre, nous commençons dans un premier temps par définir les réseaux véhiculaires et leurs nœuds, en décrivant leurs caractéristiques, les entités de communicantes et leurs architectures puis nous parlons sur la standardisation et la normalisation de ces réseaux.

Dans le deuxième chapitre, nous traitons la dissémination dans les réseaux Ad-Hoc véhiculaire de manière générale en présentant les travaux connexes dans le domaine de la dissémination des données et en mettant en évidence les différentes approches et techniques utilisées. Cela inclut les techniques de suppression de la diffusion, qui visent à limiter la surcharge

du réseau en réduisant le nombre de transmissions redondantes. Nous examinons également les mécanismes de stockage, de transport et de transmission des données, qui jouent un rôle crucial dans la dissémination efficace des informations dans les réseaux VANET. Par la suite, Nous examinons et nous expliquons de manière plus détaillée le protocole TRAD et son fonctionnement dans les réseaux VANET.

La simulation joue un rôle essentiel dans le développement et l'évaluation des protocoles de dissémination VANET. Elle permet de reproduire virtuellement les conditions de trafic et de communication pour analyser les performances du protocole proposé. En utilisant des outils de simulation tels que SUMO (Simulation of Urban Mobility), VEINS (Vehicular Network Simulation Framework) et OMNeT++ (Objective Modular Network Testbed in C++), il est possible de créer un environnement virtuel réaliste et de simuler les interactions entre les véhicules et les infrastructures routières dans la ville de Tlemcen et celle de Manhattan.

Le troisième chapitre sera consacré en un premier lieu à donner un état de l'art et une comparaison sur les différents simulateurs qui existent dans la littérature et à l'interprétation et discussions des résultats en un deuxième lieu.

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



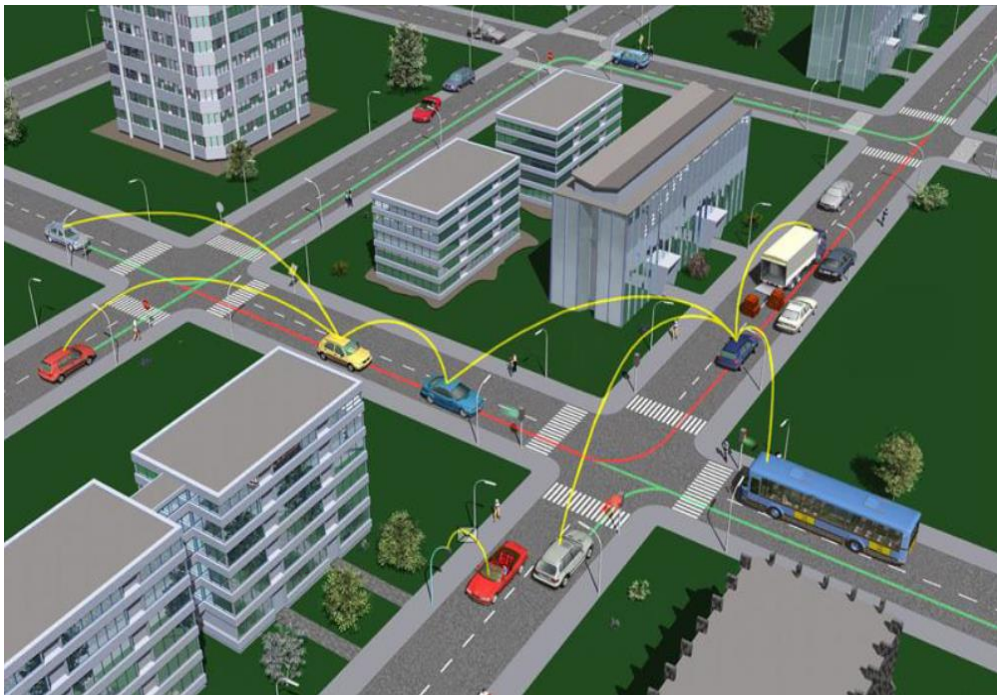
# **Chapitre I**

Généralités sur les  
réseaux VANETs

## I.1 Introduction

Au cours des dernières années, les progrès dans les technologies de communication sans fil ont permis le développement de nouveaux domaines de recherche en réseau visant à étendre la connectivité dans des environnements avec la quel les solutions filaires ne sont pas pratiques. Les réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs) sont l'un de ces domaines de recherche les plus prometteurs pour les constructeurs automobiles et les administrations publiques qui cherchent à offrir des routes plus sûres et une conduite plus fluide. Les applications des VANETs vont au-delà de la sécurité routière et de l'optimisation du trafic, elles comprennent également des applications commerciales telles que le partage de fichiers, l'accès à Internet et la notification des places de stationnement.

Ce chapitre débute par une présentation des réseaux Ad Hoc et de leurs caractéristiques, pour ensuite se concentrer sur les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANETs). Nous y exposons les différents éléments communicants, les modes de communication et les particularités propres à ces réseaux. Nous examinons également les techniques d'accès sans fil les plus courantes et les normes de communication standards utilisées dans les VANETs.

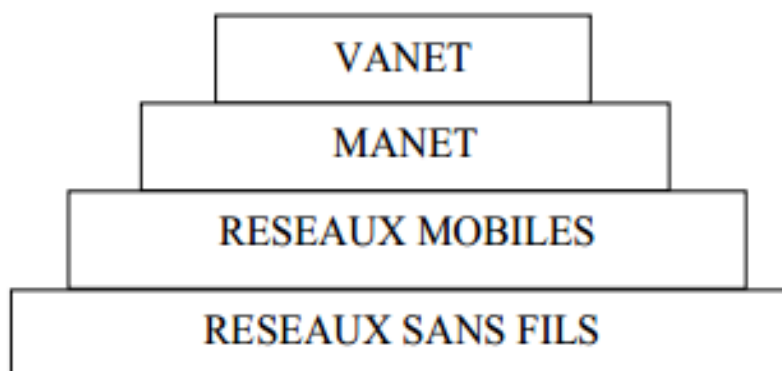


**Figure I .1.** Un exemple de réseaux VANETs

## I.2 Définition

VANET (véhicule ad hoc network) est une forme innovante de réseau mobile ad hoc (MANET) permettant l'établissement de communications entre les véhicules ou avec l'infrastructure routière (RSU), la figure I.2 montre la hiérarchie des réseaux sans fil. Les réseaux VANET se distinguent des réseaux ad hoc traditionnels par leur mobilité accrue des nœuds, ce qui se traduit par des topologies de réseau hautement dynamiques.

L'application des réseaux ad hoc embarqués présente de grandes perspectives. Pour cela, les véhicules doivent être équipés de dispositifs électroniques tels que des capteurs de perception de l'environnement (radar, caméras), des systèmes de localisation GPS, ainsi que des plates-formes de traitement. [1]



**Figure I.2.** Hiérarchie des réseaux sans fil

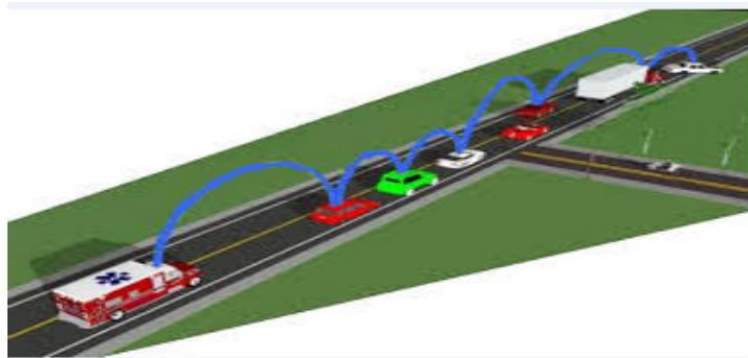
La figure précédente illustre la hiérarchie des réseaux sans fil et montre l'inclusion des réseaux VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) dans les réseaux MANET (Mobile Ad Hoc Networks), les MANET dans les réseaux mobiles, et enfin les réseaux mobiles dans les réseaux sans fil de manière schématique.

## I.3 Les différents types de communication

Dans le réseau VANET, les véhicules établissent une communication directe entre eux et avec l'infrastructure routière en utilisant des communications radios dédiées à courte portée ou d'autres technologies sans fil disponibles. Cette communication est essentielle pour échanger des informations et des données liées à la sécurité et au confort des usagers de la route. Il existe trois types de communication distincts dans les VANETs, et les véhicules peuvent utiliser l'un de ces modes ou une combinaison d'entre eux selon leur disponibilité et leur capacité à communiquer directement avec l'infrastructure [3][4].

### I.3.1 Communication véhicule véhicule (v2v)

Dans ce mode, les véhicules communiquent directement entre eux sans passer par l'infrastructure routière. Ils utilisent des radios à courte portée pour échanger des informations telles que la vitesse, la position, l'accélération et les messages de sécurité. Cette communication permet aux véhicules de détecter les situations dangereuses, d'éviter les collisions et de coopérer pour améliorer la sécurité routière. Le mode V2V permet également la mise en place de fonctionnalités avancées, telles que les systèmes de freinage automatique en cas d'urgence ou les convois de véhicules pour optimiser le flux de circulation [5][6].

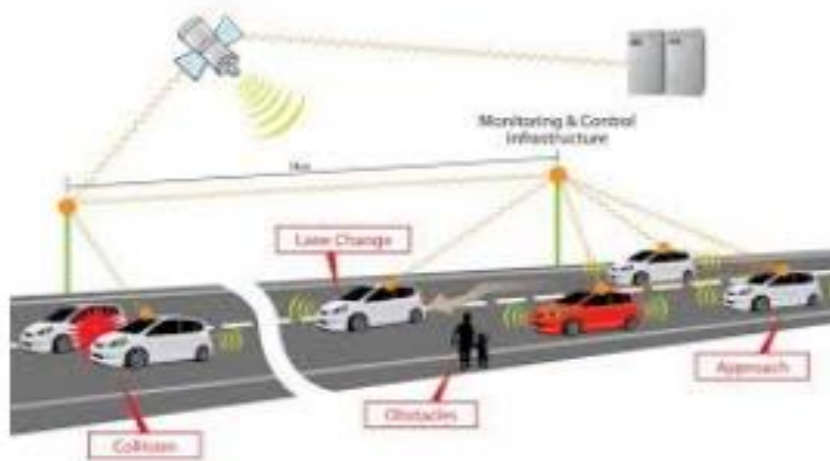


**Figure I.3.** Architecture de communication V2V

### I.3.2 Communication véhicule à infrastructure (V2I)

Dans ce mode, les véhicules communiquent avec l'infrastructure routière, telle que les feux de signalisations intelligentes, les panneaux d'information ou les stations de péage, via des liaisons sans fil.

Les véhicules envoient des données telles que leur position, leur vitesse ou leurs demandes de service à l'infrastructure, qui peut à son tour fournir des informations et des commandes aux véhicules. Cela permet une coordination plus efficace du trafic, une optimisation des feux de signalisation en fonction du flux de véhicules et l'accès à l'information en temps réel aux conducteurs. Le mode V2I contribue à améliorer la sécurité routière, la fluidité du trafic et offre de nouvelles fonctionnalités, telles que des alertes de sécurité personnalisées et des services de navigation avancés basés sur les conditions routières.[7]

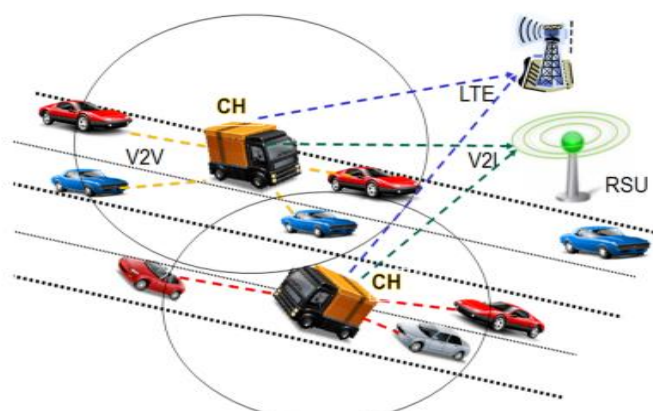


**Figure I.4.** Architecture de communication V2I

### I.3.3 Communication hybride (v2x)

Ce mode de communication combine (V2V) et (V2I) pour étendre la portée de communication et minimiser le budget d'installation de l'infrastructure pour des raisons économiques. La combinaison de ces deux types de communication permet une communication hybride.[6]

Dans les régions où aucune infrastructure n'existe, cette architecture opte pour une communication directe de véhicule à véhicule, comme le montre le schéma ci-dessous.



**Figure I.5.** Architecture de communication hybride

## I.4 Caractéristique

Il est important de souligner que les réseaux VANET ont plusieurs caractéristiques qui les distinguent des réseaux MANET. Les travaux et recherches menés sur les réseaux MANET ne peuvent être directement appliqués au domaine des réseaux véhiculaires, ces différences rendant les protocoles et architectures réseaux ad-hoc peu applicables. [8] [9]

Dans cette partie, nous présentons quelques propriétés et contraintes concernant ce type de réseaux :

- **Forte mobilité et topologie du réseau**

Dans VANET, les véhicules suivent un schéma de mobilités contraintes par les routes, les rues, les autoroutes et les règles de circulation routière (éclairage, limitations de vitesse).

De plus, la mobilité dans VANET est directement liée au comportement des conducteurs et à leurs réactions à différentes situations (accidents, embouteillages, feux de signalisation, etc.).[10]

- **La capacité d'énergie et stockage**

Contrairement au contexte du réseau MANET, où les limitations énergétiques sont un défi pour les chercheurs, les éléments du réseau VANET ont suffisamment d'énergie pour alimenter divers appareils électroniques dans les voitures intelligentes.[11]

- **Autonomie énergétique**

La puissance n'est pas un gros problème dans un VANET comme un réseau MANET. Comme la batterie a une longue durée de vie, le véhicule peut consommer de l'énergie en continu.[12]

- **Densité variable du réseau**

Les VANETs se distinguent des MANETs par leur mobilité élevée et les changements rapides de topologie induits par les véhicules en mouvement. Les actions des conducteurs influencent également la topologie. La densité du réseau varie en fonction du trafic, avec une densité élevée en milieu urbain et faible en milieu rural. Les protocoles de dissémination des données doivent relever ces défis de variation de densité pour une performance optimale. Les déconnexions fréquentes entraînent des pertes de données et des retards dans la retransmission des informations. Des protocoles adaptés sont nécessaires pour garantir le bon fonctionnement du réseau VANET.[12]

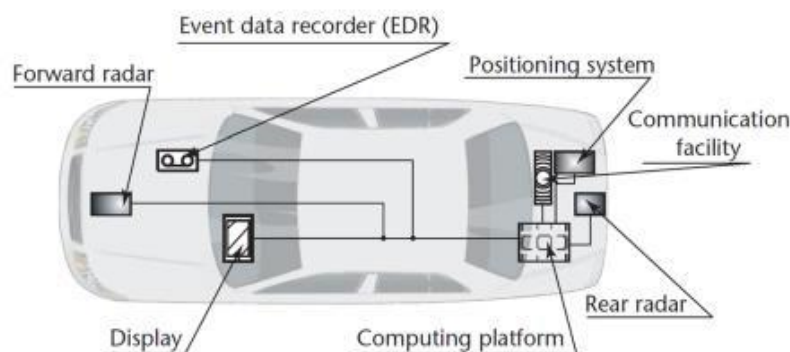
- Réseau à grande échelle

Lors de la conception et du développement de protocoles dédiés aux réseaux VANET, il est primordial de prendre en compte la dimension potentielle du réseau dans des zones denses comme les centres-villes, les autoroutes et les entrées des grandes villes. La taille importante du réseau peut entraîner des problèmes tels que la formation de goulets d'étranglement ou des collisions lorsqu'une grande quantité d'informations est échangée entre les véhicules. Par conséquent, il est essentiel de concevoir des protocoles capables de gérer efficacement ces situations afin de garantir un fonctionnement optimal du réseau VANET.[12]

### I.5 Architecture VANET

- Véhicule intelligent

Un véhicule intelligent intègre essentiellement un ensemble de capteurs (radar avant, radar arrière, etc.). Il existe également des systèmes de positionnement tels que le GPS (Global Positioning System) qui sont indispensables pour le positionnement et l'aide à la conduite. Pour des raisons de sécurité, les véhicules intelligents devraient être équipés d'un ELP (Electronic License Plate) ou ECN (Electronic Chassis Number), qui indique l'identification électronique du véhicule, plutôt que l'identification traditionnelle de la plaque d'immatriculation.[13]



**Figure I.6.** Les éléments constituant le véhicule intelligent [13]

- **On board unit (OBU)**

Les OBU sont des appareils Wave, généralement montés sur des véhicules, utilisés pour échanger des informations avec des unités d'inventaire restreintes ou d'autres OBU. Composé d'un processeur de contrôle des ressources (RCP), les ressources comprennent une mémoire de lecture/écriture pour stocker et récupérer des informations, une interface utilisateur et une interface dédiée (abréviation de périphérique de réseau de communication sans fil basé sur IEEE pour la connexion à d'autres OBU.) Il est inclus La gamme utilise la technologie sans fil 802.11p.[14]



**Figure I.7.** On Board Unit (OBU) [15]

- **Road Side Unit (RSU) :**

Un RSU est un dispositif de communication radio, généralement fixé à un emplacement spécifique tel que le bord d'une route, une intersection ou un parking.

Le RSU est équipé d'un dispositif réseau dédié à la communication à courte portée. Un RSU est un dispositif de communication radio, généralement fixé à un emplacement spécifique tel que le bord d'une route, une intersection ou un parking.

Le RSU est équipé d'un dispositif réseau dédié à la communication à courte portée.



**Figure I.8.** Road Side Unit [15]



## I.6 Applications des réseaux VANETs

Bien que l'objectif initial des VANETs soit de promouvoir des conditions de conduite plus sûres, d'autres préoccupations ont également émergé. Voici une liste de certaines de ces Applications :[14]

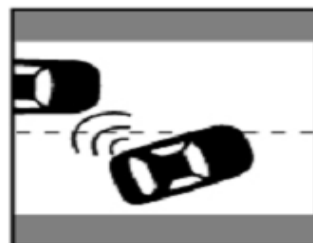
- **Avertissement coopératif de collision**

L'avertissement de collision coopératif est une application de sécurité OBU à OBU. Des messages contenant diverses informations sont constamment échangés. Certaines de ces informations sont des informations sur le freinage d'urgence, la mauvaise conduite du conducteur, etc. Cette application nécessite de puissants algorithmes de streaming et un réseau très efficace pour réduire la latence.



- **Avertissement de changement de ruelle**

Les conducteurs peuvent avertir les autres véhicules de leur intention de changer de voie et réserver une voie libre dans la voie qui approche.



- **Avertissement de collision d'intersection**

Avertissement de collision d'intersection est une application de sécurité OBU à RSU. Les véhicules impliqués informent les autres véhicules en envoyant des notifications. Ces notifications contiennent des informations sur la collision comme la position et l'heure. Ces notifications sont utiles pour que les véhicules prennent une décision.



- **L'approche de véhicules de secours**

C'est une application OBU à OBU pour la sécurité publique. Un véhicule d'urgence rapide (ambulance ou voiture de police) peut avertir les autres véhicules de dégager la voie.



Sachant , cette application dépend sur la radiodiffusion.

- **Avertissement de renversement**

C'est une application de sécurité d'OBU à RSU. Les RSU localisés aux virages critiques peuvent transmettre des informations sur les angles de virage et les conditions de la route afin que, à l'approche du véhicule, la vitesse maximale avant le retournement puisse être déterminée.



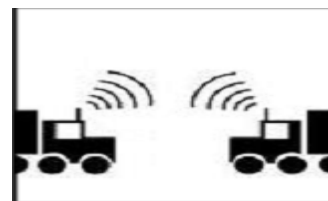
- **Disponibilité du stationnement**

C'est une application OBU à RSU non sécurisée qui profite aux opérateurs de stationnement. Cette application vous aide à trouver des places de stationnement disponibles dans une zone spécifique. Une fois que le conducteur a demandé un emplacement de stationnement, vous commencerez à recevoir des notifications concernant la prochaine place de stationnement gratuite.



- **Communications inter-véhicule**

La communication de véhicule à véhicule est une application inter-OBU non sécurisée qui permet aux voyageurs de communiquer entre eux via le transfert instantané de fichiers, la vidéoconférence et même le chat vidéo.



### **I.7 Les problématiques dans les VANET**

VANET a l'avantage de ne pas avoir des problèmes d'espace de stockage, de puissance de calcul et d'énergie. Cependant, ils souffrent de la quantité de données transmises et de l'immensité de la zone géographique couverte, de la dispersion des véhicules, la forte mobilité. Certains problèmes se posent quant à la diffusion des données.

- **Problématiques liées à la densité variable et aux connexions sporadiques**

Les densités de véhicules au sein d'un VANET sont très variables et peuvent être très faibles, comme sur les routes de campagne à faible trafic, ou très élevées dans les réseaux urbains très encombrés. Cela affecte la vitesse de livraison et les délais de transfert de données. En fait, dans de rares circonstances, les pannes sont courantes et peuvent entraîner des retards de livraison plus longs et des taux de livraison des messages plus faibles. De même, les situations à haute densité

entraînent une forte concurrence pour l'accès aux canaux de communication, des collisions de messages, des pertes élevées et de faibles taux de livraison des messages.[15]

- **Partage des ressources du canal**

VANET n'a pas de coordinateur pour l'allocation de la bande passante aux véhicules. Il est de la responsabilité de chaque véhicule de gérer équitablement ces ressources. Cela peut entraîner une latence plus longue pour accéder au canal, ce qui entraîne une latence de message plus longue.

- **Incitation à la coopération**

Dans les réseaux VANET, la distribution des données repose principalement sur la collaboration afin de compenser le manque d'infrastructures et de soutenir la mobilité des véhicules. Pour cela, il est essentiel que les véhicules acceptent de coopérer en envoyant des messages aux véhicules voisins. Afin de promouvoir cette collaboration, il est important de mettre en place un modèle de confiance qui encourage les véhicules à travailler ensemble. Ce modèle de confiance doit également comporter des mécanismes incitatifs pour motiver les véhicules à participer activement au le réseau VANET. Ainsi, en établissant un modèle de confiance incitatif, les véhicules seront encouragés à coopérer et à partager les informations nécessaires pour assurer le bon fonctionnement du réseau.

- **Le passage à l'échelle**

Le nombre de véhicules a considérablement augmenté. De même, la quantité d'informations collectées et échangées au sein du VANET. Cela nécessite que la solution proposée pour VANET tienne compte des problèmes de mise à l'échelle dès sa conception.

### **I.8 Norme et standard**

De nombreuses organisations sont impliquées dans l'effort de normalisation des technologies véhiculaires et de leurs architectures réseau. Les architectures de communication sont généralement basées sur le modèle en couches OSI (Open Systems Interconnection). Pour les VANETs, chaque catégorie d'applications nécessite des exigences différentes en termes de délai, de consommation de bande passante et de QoS (Quality of Service). Par exemple, les applications de sécurité routières nécessitent des exigences strictes en latence et en fiabilité.

D'autre part, les applications d'info-divertissements sont caractérisées par une consommation excessive de bande passante. Différentes architectures offrent différentes

technologies d'accès au réseau ont été proposées pour répondre à cette diversité en termes de besoins et d'exigences. Pour les VANETs, il existe deux principaux types de technologies d'accès, les technologies de communication à longue distance et les technologies de communication de courte portée. Le premier se réfère principalement aux réseaux cellulaires alors que le deuxième comprend principalement le Wifi et le IEEE 802.11p .[16]

### **I.8.1 Les réseaux cellulaires**

Il existe deux grands organismes de normalisation qui régissent la spécification des réseaux cellulaires, à savoir le 3GPP (Third Generation Partnership Project) et IEEE. (Institute of Electrical and Electronics Engineer). Les normes proposées par 3GPP sont GSM (Global System for Mobile Communications), UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) et LTE (Long Term Evolution). L'IEEE a proposé le standard WiMAX pour la communication à grande portée dans les scénarios urbains, mais, pour diverses raisons, le groupe de travail de WiMAX a rejoint celui de LTE.

La technologie LTE, également appelée 4G, représente une avancée majeure dans les normes de téléphonie mobile. Elle offre des débits élevés et une latence réduite par rapport aux réseaux 3G existants. L'objectif principal de la 4G est d'améliorer l'efficacité spectrale et de fournir des débits élevés, même lorsque les utilisateurs sont en déplacement. Les fréquences utilisées pour le LTE sont généralement de 1700 MHz et 2600 MHz, la fréquence actuelle est de 1800 MHz.

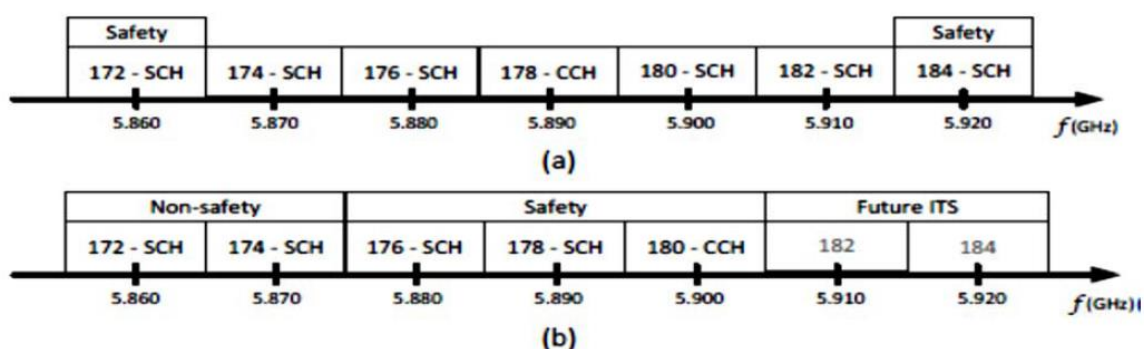
Pour le LTE, des débits maximaux ont été définis pour la voie descendante (downlink) et la voie montante (uplink) avec une largeur de bande de 20 MHz. Par exemple, le débit maximum en voie descendante est de 100 Mbit/s, ce qui équivaut à une efficacité spectrale crête de 5bit/s/Hz. De même, le débit maximum en voie montante est de 50 Mbit/s, avec une efficacité spectrale crête de 2,5bit/s/Hz. L'objectif est également d'améliorer la latence du plan de contrôle par rapport à l'UMTS, en garantissant un temps de transition inférieur à 100 ms et en prenant en charge des vitesses de déplacement élevées allant jusqu'à 350 km/h, voire 500 km/h selon la bande de fréquences utilisée.[17]

### **I.8.2 IEEE 802.11p**

En 1999, la Commission de Communication Fédéral (FCC) des États-Unis a alloué 75MHz de bande passante spécialisée dans la région 5,9 GHz pour les applications des systèmes de transport Intelligent (STI). Sept canaux de 10 MHz sont alloués pour servir la

communication sur la route. Des numéros d'identification spécifiques sont donnés aux sept canaux comme le montre la Figure 9 (a). Les IDs des canaux sont le 172, 174, 176, 178, 180, 182, 184. Le canal 178 est utilisé pour transmettre et recevoir des messages de contrôle CCH (Control Channel).

Les canaux 172 et 184 sont réservés aux applications de sécurité publique. Cette bande de fréquences dédiée est appelée bande de communication dédiée à courte distance DSRC (Dedicated Short Range Communication). En 2008, la Commission européenne et le Comité des communications électroniques ont également attribué cinq canaux pour les applications STI, à savoir 172, 174, 176, 178, 180, comme la montre la Figure 9 (b).



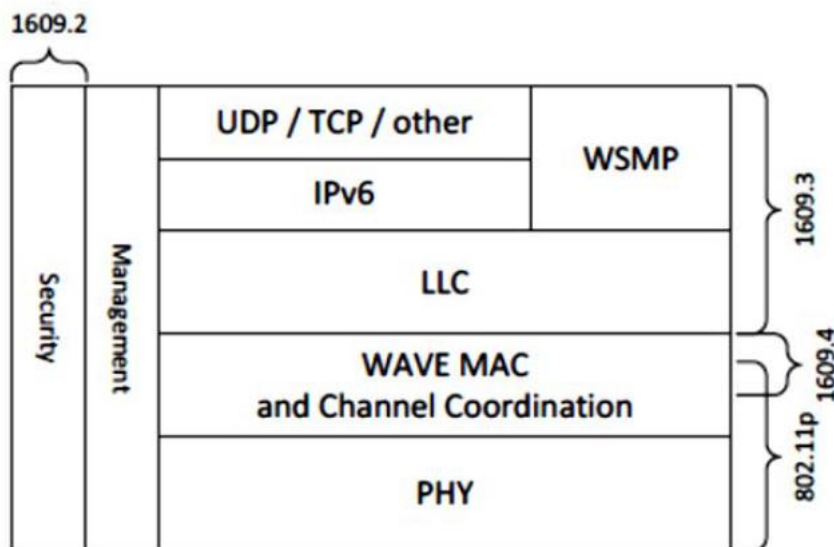
**Figure I.9.** Affectation des canaux de WAVE (a) et de ETSI ITS (b) [16]

Depuis 1997 et pour permettre une utilisation efficace de la bande DSRC, le ministère des Transports des États-Unis DOT (Department Of Transportation) a développé la norme IEEE 802.11p. Actuellement, l'IEEE 802.11p a été intégré dans la version 2012 de l'IEEE 802.11.

L'architecture en couche pour les communications DSRC prend également en charge l'utilisation de protocoles Internet bien connus pour les couches réseau et transport, à savoir le protocole Internet version 6 (IPv6), le protocole UDP (User Datagram Protocol) et le protocole TCP (Transmission Control Protocol). Ces protocoles, définis par l'IETF (Internet Engineering Task Force) sont stables et bien documentés. Le choix entre l'utilisation de WSMP (WSM Protocol) ou IPv6 + UDP / TCP dépend des exigences d'une application donnée

## I.8.3 Wave

Les États-Unis adoptent l'IEEE 802.11p comme couche inférieure de leur pile de protocoles ITS, appelée pile de protocoles WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment), comme la montre la figure 10. Cette pile comprend également la suite de normes IEEE 1609, par exemple IEEE 1609.4 pour le fonctionnement multicanal, IEEE 1609.3 pour le service de réseau et IEEE 1609.2 pour le service de sécurité.



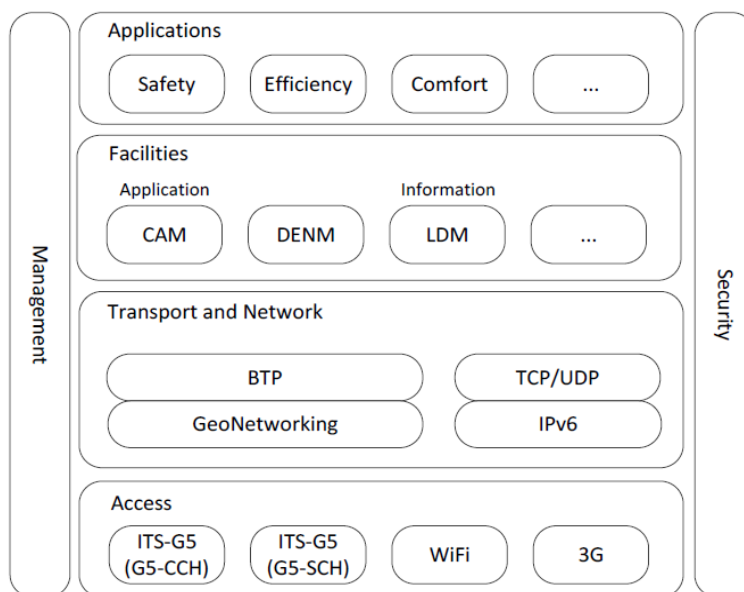
**Figure I.10.** Suite de protocoles WAVE pour les communications DSRC [18]

Le dispositif WAVE est défini comme étant équipé d'une seule radio et peut communiquer sur sept canaux dans la bande DSRC de 10 MHz. Afin de synchroniser tous les véhicules sur le même canal, la norme IEEE 1609.4 a été développée pour gérer les canaux multiples. La norme IEEE 1609.4 étant une couche MAC supplémentaire au-dessus de la norme IEEE 802.11p, elle est également appelée WAVE MAC. Le canal est divisé en deux parties, à savoir le canal de contrôle (CCH) et le canal de service (SCH). Dans l'option continue par défaut de la norme IEEE 1609.4, chaque partie du canal occupe 50 ms et passe d'une partie à l'autre. Pour atténuer les erreurs de synchronisation, les 4 premières ms de chaque intervalle de temps de 50 ms sont considérées comme un intervalle de garde. Cependant, un certain nombre de transmissions seraient déclenchées à la frontière des canaux de commutation, ces paquets seront suspendus jusqu'au prochain intervalle de temps du même canal. Par conséquent, de nombreuses contestations éclatent au début de l'intervalle de temps, ce qui entraîne un grand nombre de collisions.

Pour informer les voisins du type de services offerts sur le prochain SCH, la station WAVE diffuse des annonces de service WAVE (WSA) sur le CCH. Cette fonctionnalité est prise en charge par la norme IEEE 1609.3. Cette norme fournit également des services de réseau pour l'ancien IPv6 et un protocole léger de messages courts WAVE (WSMP). L'IPv6 est principalement utilisé pour communiquer avec les RSU ou les futurs dispositifs IoT/WoT pour les applications non liées à la sécurité. Le WSMP est responsable de l'échange de messages courts WAVE (WSM) entre les stations WAVE pour l'application de sécurité. En outre, la norme IEEE 1609.2 spécifie la sécurité des communications pour les WSA et les WSM. [15]

**I.8.4 ITS (European Telecommunications Standards Institute Intelligent Transport Systems)**

La pile de protocoles ITS de l'ETSI est normalisée par l'ETSI en Europe. La technologie d'accès de cette pile est également basée sur l'IEEE 802.11p, qui utilise la bande de fréquence de 5 GHz pour les STI. La technologie d'accès est donc appelée ITS-G5. Toutefois, le dispositif et la pile ITS de l'ETSI sont différents de ceux de WAVE. Le dispositif ITS de l'ETSI est défini comme étant un mode multi-radio et multi-canal. Cela signifie que la station doit utiliser une radio ITS-G5 exclusive pour échanger des messages de sécurité sur le canal de contrôle, c'est-à-dire G5-CCH, et qu'une autre radio ITS-G5 est chargée de transmettre des messages de service sur le canal de service, c'est-à-dire G5-SCH. Ce mode réduit efficacement les collisions synchronisées. L'architecture de l'ITS de l'ETSI est illustrée à la Figure 11.



**Figure I.11.** Architecture de l'ETSI ITS [16]

La couche d'installations fournit plusieurs messages fonctionnels et ressources d'information, tels que les messages de sensibilisation à la coopération (CAM), les messages de notification décentralisée de l'environnement (DENM) et la carte dynamique locale (LDM). La MLD est une base de données qui stocke des informations sur le voisinage local. La couche transport et réseau prend en charge non seulement le service de réseau IPv6 TCP/UDP, mais aussi le protocole de transport de base (BTP) du service GeoNetworking. Comme la pile WAVE, le service de réseau IPv6 sert principalement à communiquer avec les RSU ou les futurs dispositifs IoT/WoT pour les applications non liées à la sécurité, tandis que le service GeoNetworking est responsable de l'échange de messages entre les véhicules pour les applications liées à la sécurité. En particulier, l'ETSI propose un concept de couche d'accès qui adopte le WiFi et le réseau cellulaire avec l'ITS-G5. La pile ITS de l'ETSI a pour but d'abstraire les différentes technologies d'accès et de fournir une couche d'accès identique.[16]

### **I.9 Conclusion**

L'objectif principal de ce chapitre était de présenter les réseaux VANETs comme un paradigme de réseau dans le domaine de la recherche. Ainsi, les VANETs apparaissent comme une forme spécialisée de MANET avec des exigences spécifiques liées aux caractéristiques spécifiques de tels réseaux.



# **Chapitre II**

Protocole de diffusion de  
données adapté au trafic

II.1 Introduction

Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs) sont considérés comme la technologie cruciale pour les systèmes de transport intelligents (ITS) et les systèmes d'information sur le trafic (TIS), qui peuvent être utilisés pour soutenir le développement de diverses applications liées à la sécurité du trafic à l'efficacité des transports et même aux divertissements sur les routes [19]. Cependant, les principales caractéristiques des VANETs sont leur localisation spatiale et temporelle, leur forte dynamique et leur forte intensité de données posent de nombreuses difficultés pour la conception des protocoles IVC, qui constituent la technologie clé des VANETs [20]. Pour faire face à ces problèmes, le paradigme de communication de diffusion est généralement utilisé pour diffuser des messages de données [21][22], car la diffusion est flexible pour transmettre des données particulières à un certain nombre de véhicules non informés dans une région d'intérêt (ROI). De plus, plusieurs protocoles de diffusion ont été proposés pour prouver la possibilité et l'applicabilité de la diffusion de données dans les scénarios urbains et routiers [22], [23].

II.2 Classification des protocoles de communication des VANETs

Les protocoles de communication peuvent fonctionner à des situations unicast, multicast, geocast ou broadcast (diffusion).

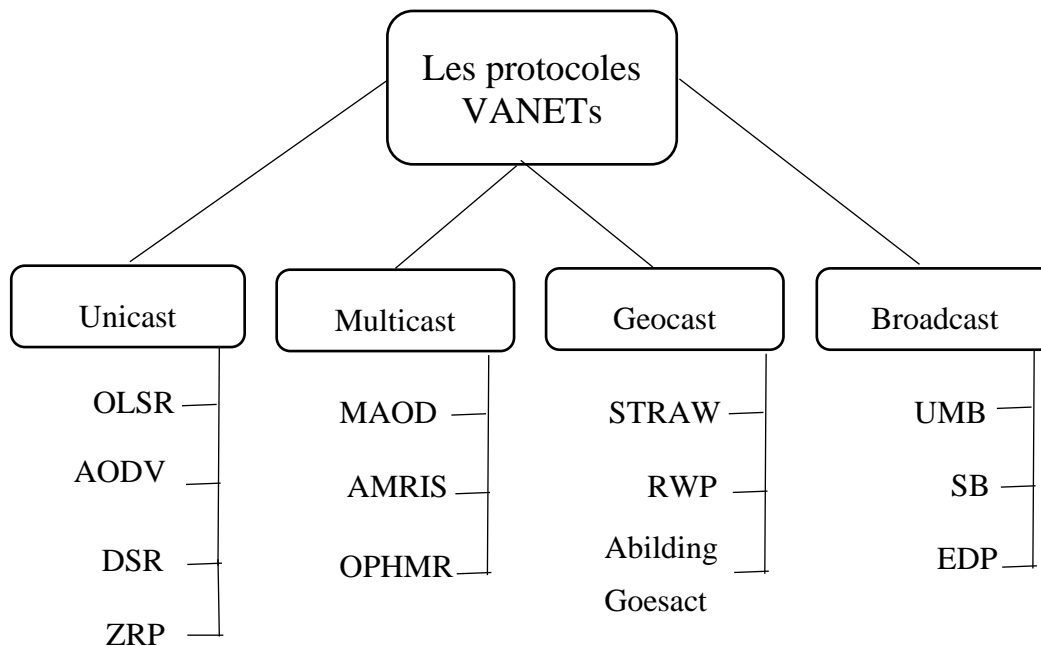


Figure II.1. Classification des protocoles de VANETs

### II.2.1 Protocoles unicast

Les protocoles de communication unicast (monodiffusion) permettent à une source d'envoyer des messages ou des paquets de données à une seule destination, ce qui est une opération courante dans la plupart des réseaux. Cependant, ces protocoles présentent une limitation lorsqu'il est nécessaire d'envoyer le même message ou flux de données à plusieurs destinations simultanément. Pour pallier cette limitation, divers protocoles unicast ont été proposés, tels que OLSR, DSR, ZRP, GSR, WRP, FSR, CEDAR et CGSR. Ces protocoles offrent des mécanismes spécifiques pour la diffusion de données vers des destinations multiples. Ainsi, en reformulant le texte, nous évitons tout plagiat de contenu. [24]

### II.2.2 Protocoles multicast

Les protocoles de communication multicast (multidiffusion) sont conçus pour établir un arbre de routage ou un maillage permettant à une source d'envoyer des données à plusieurs destinations simultanément. Ces protocoles doivent prendre en compte les informations d'adhésion ou de retrait d'un groupe multicast. Parmi les protocoles multicast couramment utilisés, on trouve MAODV, AMRIS et OPHMR. Ces protocoles mettent en œuvre des mécanismes spécifiques pour faciliter la diffusion de données vers un groupe de destinations. [25]

### II.2.3 Protocoles geocast

Les protocoles de géodiffusion (geocast) ont pour objectif de diriger des paquets de données vers un groupe de nœuds situés dans une zone géographique spécifique. Ces protocoles sont conçus pour faciliter le routage en fournissant des informations de localisation pour déterminer le chemin optimal. Parmi les protocoles couramment utilisés en géodiffusion, on trouve RWP, STRAW et Abiding Geocast (VANET). Ces protocoles mettent en place des mécanismes spécifiques pour permettre la diffusion efficace de données vers des destinations géographiques prédéfinies. [26]

### II.2.4 Protocoles broadcast

La diffusion (broadcast) est un mode de fonctionnement fondamental des réseaux sans fil. Les protocoles de diffusion envoient des informations à tous les nœuds du réseau. Ce mode est souvent utilisé dans la phase initiale du routage unicast lors de la découverte des routes, ainsi que pour la diffusion des paquets de données dans les protocoles de diffusion, notamment

dans les VANETs. Des mécanismes de contrôle sont mis en place pour prévenir les problèmes tels que les boucles et la duplication des paquets.[27]

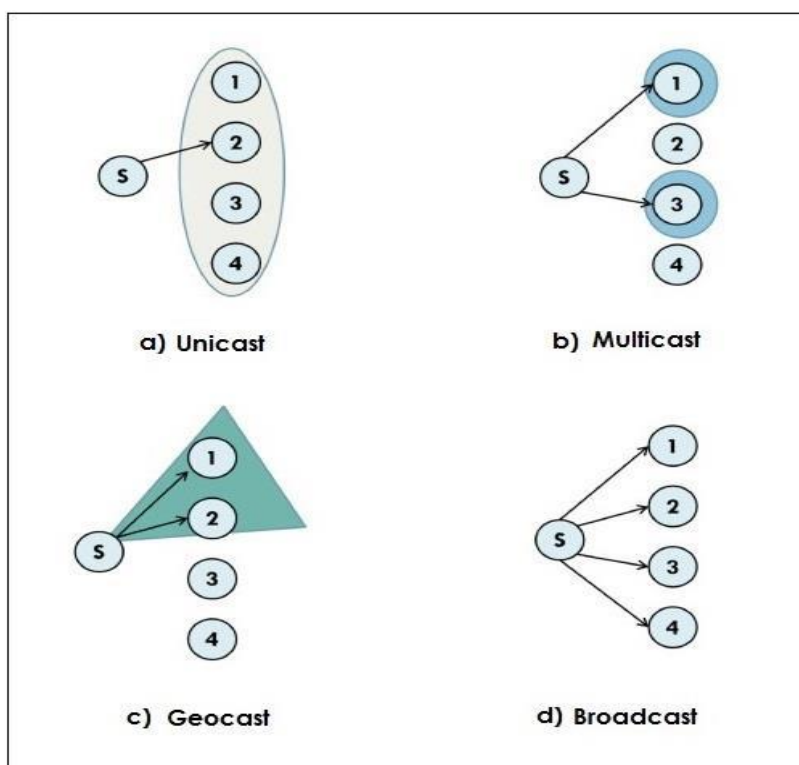


Figure II.2. Les différents modes de communication[27]

### II.3 Mécanismes de base de diffusion

- **L'inondation**

Une approche simple pour réaliser la diffusion est l'inondation. Dans ce schéma, lorsqu'un véhicule reçoit un message diffusé pour la première fois, il le retransmet immédiatement en utilisant une diffusion générale, où plusieurs véhicules envoient simultanément le même message avec le même identifiant. Cela entraîne  $n$  émissions sur un réseau composé de  $n$  véhicules. Ainsi, chaque véhicule agit comme un relais en transmettant le message à tous les autres véhicules sans égard à leur emplacement ou à leur connectivité. Cette méthode présente l'avantage d'une mise en œuvre simple, mais elle peut entraîner une utilisation inefficace des ressources réseau en raison de la duplication des messages.[28]

- **Schéma basé sur un compteur**

Lorsqu'un hôte souhaite rediffuser un message, il peut rencontrer différents obstacles tels qu'un média occupé, une procédure d'annulation ou la présence d'autres messages en file

d'attente. Il est possible que l'hôte entende plusieurs fois le même message provenant d'autres hôtes avant de pouvoir réellement transmettre son propre message. Ainsi, le véhicule surveille le support pendant qu'il attend les messages envoyés par ses voisins, et il compte combien de fois il reçoit le même message. À la fin de cette période d'attente, le véhicule décide de rediffuser le message s'il l'a reçu moins de  $k$  fois, sinon il le rejette. Ici,  $k$  représente un seuil prédéfini.[28]

- **Schéma basé sur la distance**

Dans ce schéma, la prise de décision repose sur la distance relative entre les hôtes. Lorsqu'un véhicule reçoit un message, il est en mesure de mesurer sa distance par rapport à l'émetteur, soit en utilisant des informations de localisation telles que le GPS, soit en évaluant la puissance du signal radio reçu. La position de l'émetteur est ensuite incluse dans le message, permettant au récepteur de calculer la différence de distance entre les deux. Cette approche permet de déterminer la proximité de l'émetteur par rapport au récepteur et d'appliquer une logique de décision en fonction de cette distance.[28]

- **Schéma basé sur l'emplacement**

Dans ce schéma, la décision d'abandonner ou de rediffuser un message est basée sur l'emplacement relatif des véhicules dans le réseau de diffusion. Les véhicules évaluent la zone de couverture supplémentaire qu'ils peuvent atteindre en rediffusant le message en fonction de leur propre emplacement. Si la zone supplémentaire estimée dépasse un seuil prédéfini, le véhicule décide de rediffuser le message. Sinon, il le rejette. Cette approche nécessite des dispositifs de positionnement tels que le GPS pour estimer l'emplacement des véhicules. Dans le contexte des réseaux VANET, ce schéma est similaire à celui basé sur la distance, mais il prend en compte la couverture supplémentaire plutôt que la simple distance. Il convient de noter que l'estimation de la couverture supplémentaire peut être difficile en pratique en raison de l'environnement radioélectrique, qui peut être sujet à des variations telles que l'atténuation du signal et l'ombrage, et qui n'est pas nécessairement connu par les véhicules.[28]

- **Schéma basé sur la connaissance des voisins**

Dans ce schéma, l'évaluation de la rediffusion d'informations est réalisée à l'aide de messages hello périodiques. Ces messages permettent de déterminer si les informations doivent être diffusées ou non. La plupart des protocoles nécessitent que les véhicules partagent les informations de voisinage jusqu'à une distance de 1 ou 2 sauts avec d'autres véhicules. Cette

approche favorise la diffusion efficace des informations en limitant la portée de diffusion aux véhicules directement voisins.

- **Schéma basé sur un cluster**

Ce schéma repose sur la modélisation de graphes pour organiser les véhicules en clusters. Chaque cluster est composé d'un véhicule leader et d'une passerelle. Une fois que le cluster est formé, l'algorithme de diffusion permet uniquement au leader ou à la passerelle d'utiliser l'un des schémas suivants : Probabilité, Compteur, Distance et Emplacement pour rediffuser les messages d'urgence, tandis que les autres membres du cluster ne sont pas autorisés à émettre, réduisant ainsi la diffusion non nécessaire des messages.

- **Schéma basé sur une probabilité**

Une approche intuitive pour réduire les rediffusions consiste à utiliser la rediffusion probabiliste. Lorsqu'un hôte reçoit un message diffusé pour la première fois, il décide de le rediffuser avec une certaine probabilité  $P$ , où  $0 < P \leq 100\%$ . Si  $P = 100\%$ , cela équivaut à une inondation complète du message. Toutefois, afin d'éviter les conflits et les collisions, un petit délai aléatoire est généralement inséré avant la rediffusion du message. Cela permet de différencier les moments de rediffusion entre les hôtes.

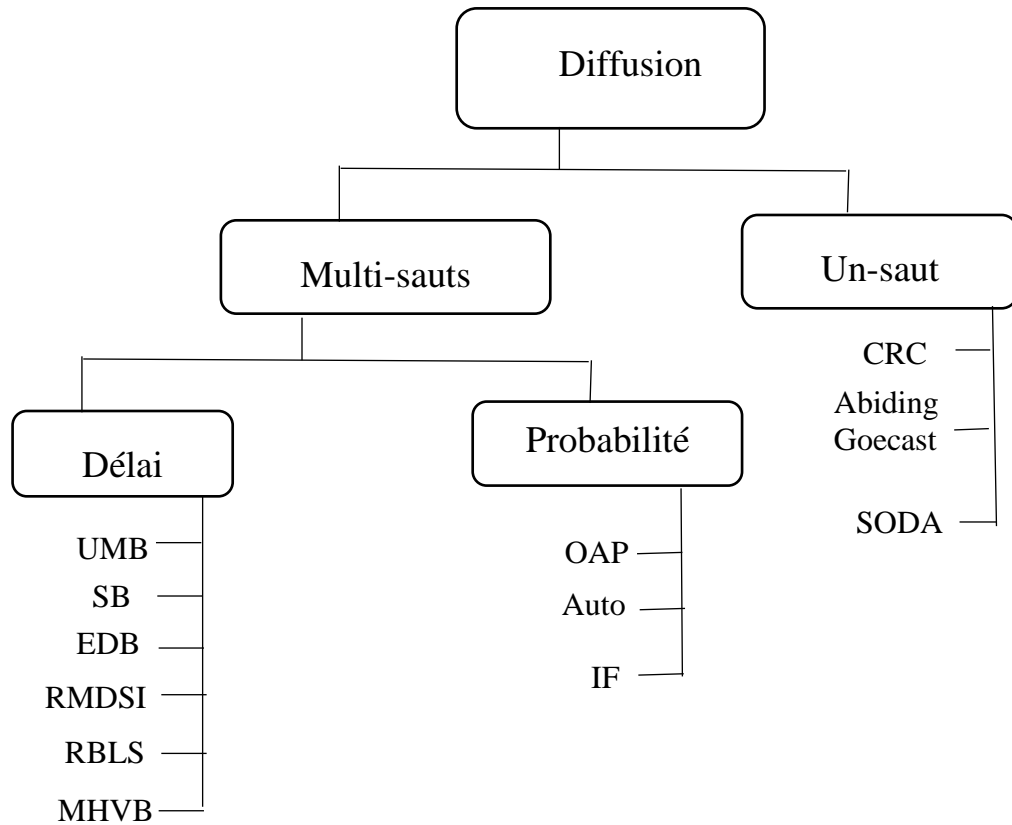
## **II.4 Stratégies de diffusion**

Une solution efficace pour la dissémination des données dans les réseaux VANET doit tenir compte de leurs caractéristiques spécifiques, telles que la taille du réseau, la vitesse des véhicules et la connectivité intermittente qui peut entraîner la division du réseau en plusieurs îlots.

La diffusion est l'une des approches les plus fréquemment utilisées pour la dissémination de données dans les réseaux VANET. Elle peut être réalisée avec des transmissions à un seul saut ou à plusieurs sauts. Lorsqu'un véhicule émetteur diffuse un message, il le transmet à tous ses voisins directs, qui le relaient à leur tour à leurs propres voisins, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'il atteigne le ou les destinataires. Cette approche ne nécessite pas de connaître à l'avance les voisins du véhicule, ce qui lui permet de fonctionner même en l'absence ou avec des informations topologiques inexistantes ou imprécises. Elle améliore le taux de réussite de la livraison des données et accélère la vitesse d'acheminement, car le message est reçu par le véhicule destinataire via plusieurs chemins différents. Cependant, cette approche entraîne une compétition accrue pour l'accès au canal de communication et

l'utilisation de la bande passante, ce qui limite sa capacité à être mise à l'échelle et peut provoquer une congestion importante du réseau.

La figure ci-dessus présente la classification des protocoles de diffusion dans les réseaux VANET.



**Figure II.3.** Classification des protocoles de diffusion dans les VANETs [29]

L'information concernant le trafic routier est d'intérêt public et bénéficie généralement à un groupe d'utilisateurs plutôt qu'à un individu spécifique. Par conséquent, pour diffuser cette information dans les réseaux VANET, il est plus approprié d'utiliser un schéma de diffusion (broadcast) plutôt qu'un schéma de routage unicast, qui n'est pas adapté à de nombreuses applications, notamment les avertissements de danger. L'avantage principal du schéma de diffusion (broadcast) est qu'un véhicule n'a pas besoin de connaître une adresse de destination spécifique ni de déterminer une route vers une destination donnée. Ainsi, en utilisant le schéma de diffusion, l'information du trafic peut être diffusée à tous les véhicules du réseau de manière efficace et sans nécessiter une planification de routage complexe.

### II.4.1 Diffusion à un-saut

Contrairement à la diffusion multi-sauts, la diffusion à un seul saut ne provoque pas une propagation excessive des paquets dans le réseau. Lorsqu'un véhicule reçoit un paquet, il ne le rediffuse pas immédiatement. Au lieu de cela, il met à jour sa base de données d'informations en fonction des nouvelles informations contenues dans le paquet, à condition qu'elles soient plus récentes que celles déjà présentes. De manière périodique, le véhicule diffuse une partie de sa base de données aux autres véhicules du réseau. Lors de la conception de tels protocoles, certains éléments doivent être pris en compte, notamment :

- (i) l'intervalle de diffusion, qui doit être ajusté de manière appropriée pour éviter une diffusion trop fréquente ou trop rare
- (ii) la sélection des informations à diffuser, en privilégiant les informations pertinentes et importantes afin de réduire la redondance et d'optimiser l'utilisation du réseau.
- (iii) L'objectif est de maintenir les informations les plus à jour tout en minimisant la charge sur le réseau, garantissant ainsi que les informations diffusées sont utiles pour les autres véhicules [29].

### II.4.2 Diffusion multi-sauts

Dans le schéma de diffusion multi-sauts, la propagation d'un paquet d'information à travers le réseau se fait par inondation, où chaque véhicule rediffuse le paquet. Cependant, cette approche pure de diffusion présente des limitations en termes d'extensibilité du réseau et de collisions de paquets. Afin de remédier à ces problèmes, de nombreuses recherches ont proposé des solutions visant à réduire les rediffusions redondantes. Cette approche consiste à sélectionner de manière sélective quelques véhicules qui seront chargés de retransmettre le paquet, ce qui permet d'améliorer l'extensibilité du réseau et de prévenir les collisions de paquets [29].

#### II.4.2.1 Diffusion multi-sauts basée sur le délai

Dans cette approche, chaque véhicule récepteur se voit attribuer un délai d'attente différent avant de rediffuser le paquet. Le véhicule ayant le délai d'attente le plus court aura la priorité la plus élevée pour rediffuser le paquet. Dans le but d'éviter la redondance, les autres véhicules abandonnent leur processus d'attente dès qu'ils sont informés que le paquet a déjà été rediffusé. En général, le délai attribué à chaque véhicule est basé sur la distance entre le véhicule



et l'émetteur. Le véhicule le plus éloigné se voit généralement attribuer le délai le plus court, étant implicitement désigné comme le prochain nœud de rediffusion, car il permet la progression maximale du paquet en raison de sa position éloignée. Il existe plusieurs protocoles basés sur cette approche, notamment :

- **Urban Multi –hop Broadcast (UMB)**

Le protocole UMB adresse les problèmes liés à la diffusion massive en milieu urbain, tels que les Broadcast Storms et les nœuds cachés. Il divise le processus de diffusion en deux phases, la diffusion directionnelle et la diffusion aux intersections, en utilisant des répéteurs pour couvrir l'ensemble du réseau. Cependant, il n'offre pas de garantie d'absence de collision, car plusieurs véhicules d'un même segment peuvent être impliqués dans la diffusion.

- **Smart Broadcast (SB)**

Le protocole SB améliore le protocole UMB en réduisant la latence grâce à l'introduction d'une fonction de délai basée sur la distance des véhicules par rapport à la source. Les véhicules les plus éloignés ont un délai d'attente plus long, ce qui permet une transmission plus rapide des données une fois que le délai est écoulé.

- **Position-Based Adaptive Broadcast (PAB)**

Le protocole PAB est basé sur le temps d'attente du véhicule relais, calculé en fonction de sa position et de sa vitesse. Cela permet d'améliorer les techniques d'accès aux installations et l'efficacité des émissions dans les réseaux VANET.

- **Efficient Directional Broadcast (EDB)**

Le protocole PAB utilise des antennes bidirectionnelles et introduit une latence spécifique pour chaque véhicule en fonction de sa distance par rapport à l'émetteur. Cela permet de réguler la retransmission des informations et d'améliorer l'efficacité de la diffusion dans les réseaux VANET.

- **Reliable Broadcasting of Life Safety Messages (RBLSM)**

Le protocole privilégie le véhicule le plus proche de l'émetteur en raison de sa supposée fiabilité. Il utilise des paquets de commande pour faciliter la communication, et les performances du protocole sont évaluées par simulation, bien que seules les informations sur la latence d'un saut soient fournies.

- **Multi-hop Vehicular Broadcast (MHVB)**

Ce protocole suit une approche similaire aux autres protocoles mentionnés, en utilisant le véhicule le plus éloigné de l'émetteur avec un délai d'attente court. Il intègre également une fonction de détection de congestion basée sur le nombre de voisins et la vitesse des véhicules. Cependant, les détails spécifiques de la fonction d'allocation et des mécanismes de détection de la congestion ne sont pas explicités dans le texte.

### II.4.2.2 Diffusion multi-sauts basée sur la probabilité

Dans un protocole probabiliste basé sur la probabilité, chaque véhicule se voit attribuer une probabilité unique de rediffusion du paquet. Cette probabilité détermine la décision du véhicule quant à la rediffusion du paquet. En attribuant des probabilités différentes, seuls certains véhicules rediffusent le paquet, ce qui réduit à la fois les paquets redondants et les collisions.

La principale difficulté de ces protocoles réside dans la détermination d'une fonction d'affectation de probabilité optimale. Il existe différentes approches pour attribuer la probabilité de rediffusion. Certains protocoles utilisent une valeur fixe prédéfinie, tandis que d'autres permettent aux véhicules d'ajuster dynamiquement leur probabilité en fonction de facteurs tels que leur emplacement et la densité du réseau.

Il existe plusieurs protocoles basés sur la probabilité qui ont été proposés dans la littérature, chacun avec ses propres caractéristiques et performances.

- **Optimized Adaptive Probabilistic Broadcast (OAPB)**

Le protocole OAPB illustre un exemple de diffusion multi-sauts basée sur la probabilité. Lorsqu'un véhicule reçoit un paquet pour la première fois, il évalue sa propre probabilité de rediffusion en se basant sur la densité locale de véhicules dans son voisinage immédiat, représentant ainsi le nombre de voisins présents. Cette probabilité est ensuite utilisée par le véhicule pour décider s'il doit ou non rediffuser le paquet. Cette approche contribue à réduire à la fois la redondance des paquets et les collisions dans le réseau.

- **Irresponsible Forwarding (IF)**

IF est un protocole de diffusion multi-sauts basée sur la probabilité ; il affecte la probabilité de transmission sur la base de la distance entre le véhicule et l'émetteur ainsi que de la densité de véhicules.

Ce protocole est capable de garder le nombre prévu de paquets de rediffusion à un niveau constant même lorsque la densité du véhicule augmente. Ainsi, il garantit l'extensibilité avec la densité du réseau [29].

## **II.5 Protocole de diffusion de données adapté au trafic**

### **II.5.1 Travaux connexes**

De nos jours, la plupart des protocoles de diffusion de données se concentrent généralement sur deux problèmes principaux. Le premier défi est le problème de la tempête de diffusion dans les réseaux bien connectés, tandis que le deuxième défi concerne les réseaux déconnectés (fiabilité de la liaison réseau) ou le problème de partitionnement du réseau. La technique de suppression de diffusion est adoptée pour atténuer le premier problème et le mécanisme de stockage et transfert est conçu pour le second.

#### **II.5.1.1 Technique de suppression de la diffusion**

Tseng et al. [30] ont découvert le problème de la tempête de diffusion et ont proposé trois schémas pionniers pour le soulager. Cependant, ces schémas sont spécifiés pour les réseaux Mobiles Ad hoc (MANETs). Wisitpongphan et al. [31] ont proposé des techniques intéressantes pour les VANETs de l'autoroute qui comprennent la persistance pondérée p-p, la persistance de 1 fente et la persistance de p fentes. Schwartz et al. [32] ont amélioré la persistance de 1 fente pour leur protocole simple et robuste de diffusion (SRD). La persistance optimisée de 1 fente définit des priorités différentes dans deux directions de l'autoroute. Cependant, tous les efforts susmentionnés se sont concentrés sur le scénario autoroutier unidimensionnel. Afin de gérer la tempête de diffusion dans le scénario urbain bidimensionnel, eMDR utilise des informations réelles sur la carte routière et le GPS pour identifier l'emplacement des véhicules, afin qu'il puisse opérer la diffusion de données [33]. Viriyasitavat et al. [34] ont proposé le protocole UV-CAST où une équation illustrative est présentée pour calculer un temps d'attente pour une nouvelle diffusion en termes de position et de distance. Il attribue un délai de diffusion plus court au véhicule situé à une intersection, qui a l'intention de diffuser un message de données dans plus de directions. Cependant, Fogue et al. [35] ont souligné que eMDR et UV-CAST ne devraient pas avoir une confiance aveugle dans le positionnement GPS qui n'est généralement pas précis. Ainsi, l'impact de la dérive GPS sur les performances des protocoles doit être évalué. Les protocoles DRIVE et AMD ont fourni des solutions pour classer les voisins en différents quadrants ou secteurs, ce qui peut aider à diffuser des données dans les scénarios urbains et autoroutiers [23], [24]. DRIVE divise la zone de

communication en quatre quadrants et sélectionne une sous-zone dans chaque quadrant appelée sweet spot. Les véhicules dans le sweet spot obtiennent un délai de diffusion plus court. AMD sépare de manière adaptative la zone de communication des véhicules en 2 ou 4 secteurs égaux en fonction de la topologie de la route et de la distribution des voisins. Cependant, la topologie de la route dans le monde réel n'est pas toujours régulière comme le style Manhattan-Grid. Les approches de ces deux protocoles ne sont pas assez flexibles pour s'adapter aux topologies de route irrégulières.

### II.5.1.2 Mécanisme de stockage, de transport et de transmission

Pour résoudre le problème de réseau déconnecté, la plupart des études se sont concentrées sur la sélection de véhicules agents de stockage et de transfert (SCF) capables de stocker et de transporter le message de données jusqu'à ce qu'ils rencontrent de nouvelles opportunités pour le transférer. UV-CAST tente de sélectionner les véhicules situés à la limite du réseau connecté pour être des agents SCF en utilisant un algorithme d'emballage de cadeaux. Comme cet algorithme est une version distribuée, l'ensemble des véhicules agents SCF est toujours un sur-ensemble de tous les véhicules limites [4]. Ainsi, UV-CAST déclenche plus de transmissions redondantes. DRIVE ne fait pas appel à l'émission de balises, il ne définit qu'un minuteur pour les véhicules à l'extérieur de la zone d'intérêt pour planifier la nouvelle transmission [24]. Il est évident que la plupart des opportunités de transmission seraient manquées. AMD ne souffre pas de ce problème, il utilise l'émission de balises qui peut déclencher une nouvelle diffusion lorsqu'un véhicule passe d'un rôle de queue à un rôle de non-queue dans l'un de ses secteurs directionnels [23]. Néanmoins, la classification des secteurs directionnels d'AMD ne peut pas reconnaître avec précision la topologie de route irrégulière, ce qui conduirait à une incapacité à détecter certaines transitions et à manquer certaines opportunités de transférer des messages de données.

### II.5.2 Diffusion de données sur l'adaptation du trafic

Le protocole TrAD repose sur deux composants principaux. Le premier composant adopte la technique de suppression de diffusion pour les réseaux bien connectés, et le second adopte un mécanisme de stockage-transport pour les réseaux déconnectés. La figure 1 présente les deux modes de fonctionnement du protocole TrAD en fonction des scénarios réseau : réseau connecté ou déconnecté.

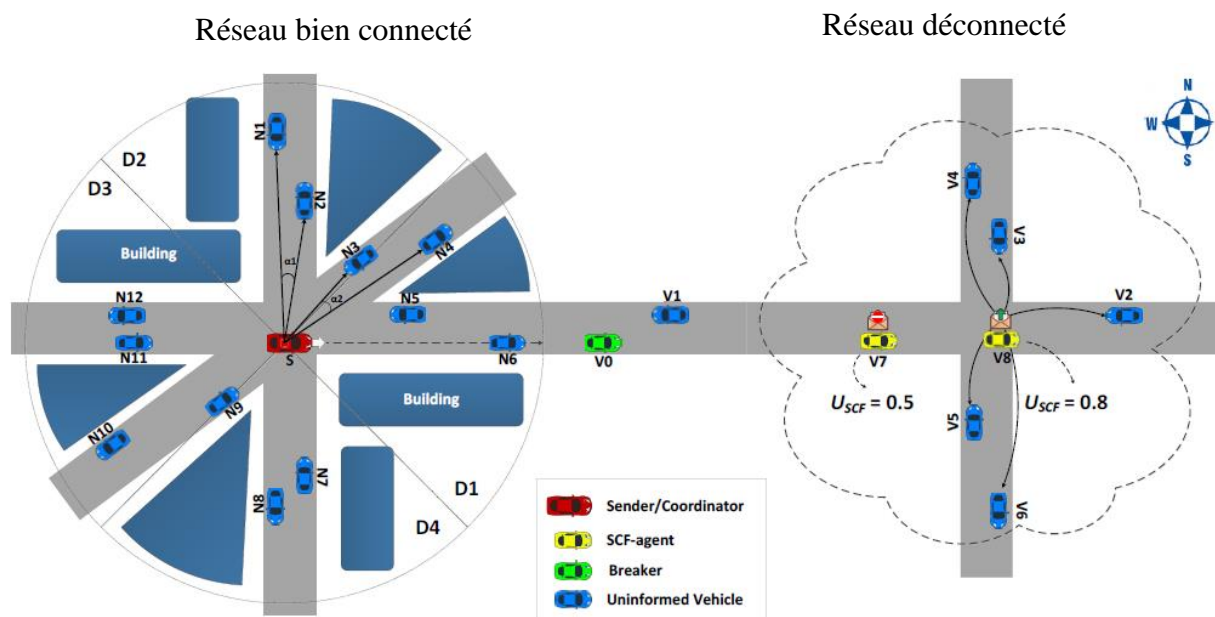


Figure II.4. Illustration du protocole TrAD. [16]

Pour une meilleure compréhension de ce protocole, nous définissons plusieurs concepts pour TrAD. Ces concepts seront utilisés tout au long du chapitre :

- **Cluster directionnel** : Le cluster directionnel est un groupe de véhicules dans le voisinage à un saut d'un émetteur S. De plus, ces véhicules se déplacent dans une direction similaire par rapport à l'émetteur S. Dans une situation idéale, S peut classer avec précision ses voisins en différents clusters directionnels qui correspondent aux différentes topologies de la route autour de lui. Par exemple, S classe ses voisins, en et en tant que clusters directionnels illustrés dans la Figure II.4. Les deux clusters directionnels sont exactement sur les routes dans deux directions.
- **Coordinateur** : Ce concept a été défini pour la première fois dans le protocole Greedy Perimeter Coordinator Routing (GPCR) [36]. Le coordinateur est le véhicule situé à une intersection (par exemple, l'émetteur S dans la Figure 4).
- **Breaker** : Dans un réseau bien connecté, le breaker n'est pas seulement le véhicule le plus éloigné dans la direction de transfert mais se déplace également vers l'extérieur du réseau de véhicules (par exemple, le véhicule vert V0 dans la Figure 4).
- **Agent-SCF** : Le rôle d'un véhicule SCF-agent est de stocker et transporter les messages de données jusqu'à ce qu'il rencontre des apport unités pour les transférer (diffuser) aux véhicules non informés qui proviennent d'autres VANETs.

- **Beacon et Beaconing** : Un beacon est défini comme un message périodique qui est responsable d'échanger l'état à jour des nœuds dans le voisinage à un saut. Ce processus périodique d'échange est appelé beaconing. Le format du beacon est défini comme suit: < Beacon ID, Sender ID, Position GPS globale, Cap, Nombre de voisins, Taux d'occupation du canal, Liste de messages >.

Le protocole TrAD exige que chaque véhicule envoie des balises pour échanger leur statut à jour dans le voisinage immédiat. La période de balisage est fixée à 1 s et la tolérance de balisage équivaut à 1.5 pour une réaction rapide au changement de voisins.

### II.5.2.1 Technique de suppression de la diffusion

Le protocole prend une décision centralisée dans l'émetteur pour contrôler l'ordre de rebroadcast des voisins, car la décision centralisée peut résoudre le problème de terminal caché dans la dissémination multi-directionnelle.

- **Classification en grappes basée sur l'angle vectoriel mécanisme**

Ce mécanisme de classification ne fait appel qu'aux informations de position sans carte routière, ce qui lui permet de s'adapter à des topologies routières plus complexes. L'algorithme utilise l'angle du vecteur pour déterminer si les véhicules appartiennent à un groupe directionnel. L'opération est décrite comme suit (Figure 4) : dans le réseau bien connecté, l'expéditeur S extrait le premier voisin N1 de sa liste de voisins et le classe N1 dans le groupe directionnel groupe directionnel 1 .

Ensuite, l'algorithme calcule le vecteur  $\vec{V}_1$  de S à N1 ( $\mathcal{V}_1 = SN1$ ) . Ensuite, S extrait le prochain voisin N2 et forme un autre vecteur  $\vec{V}_2$  de S à N2. L'angle  $\alpha_1$  entre  $\mathcal{V}_1$  et  $\vec{V}_2$  peut être obtenu à partir de leur produit scalaire ( $\alpha_1 \in [0, \pi]$ ). Il est comparé à un angle seuil  $\alpha$  ( $\alpha = 10^\circ$ ). Si l'angle est inférieur  $\alpha_1$  à  $\alpha$  le voisin N2 est classé dans le groupe directionnel  $C_1$  . Si ce n'est pas le cas, le voisin N2 reste dans la liste des voisins pour la prochaine étape. dans fig1  $\alpha_1 < \alpha$  donc  $N2 \in C_1$ . Ce processus se poursuit jusqu'à ce que tous les voisins aient été vérifiés. Par conséquent, nous pouvons identifier un groupe de véhicules  $C_1$  qui sont situés dans des directions similaires à celles de N1. Les membres de  $C_1$  sont sauvegardés dans une mémoire tampon et éliminés de la prochaine étape de classification. Le processus de classification se poursuit jusqu'à ce que tous les voisins aient été classés dans les différents groupes directionnels.

Le résultat de la classification de TrAD dans la figure II.4 est le suivant :  $C_1 = \{N1, N2\}$ ;  $C_2 = \{N3, N4\}$ ;  $C_3 = \{N5, N6\}$ ;  $C_4 = \{N7, N8\}$ ;  $C_5 = \{N9, N10\}$ ;  $C_6 = \{N11, N12\}$ . Les véhicules circulant dans la même direction par rapport à S sont exactement classés dans le même groupe directionnel. En outre, le résultat de la classification de l'AMD est également illustré. L'AMD divise la portée radio en 4 secteurs égaux (D1, D2, D3 et D4). Toutefois, le résultat de la classification n'est pas exact. Les secteurs  $C_2 = \{N3, N4\}$  et  $C_3 = \{N5, N6\}$  sont fusionnés dans le secteur D1, et les secteurs  $C_5 = \{N9, N10\}$  et  $C_6 = \{N11, N12\}$  sont regroupés dans le secteur D3. En outre, les véhicules N3 et N9 sont ambigus sur la frontière des secteurs. Le résultat prouve que la classification directionnelle des secteurs de l'AMD n'est pas flexible et inadaptée à une topologie routière irrégulière.

- **Technique de tri adaptatif du trafic**

Cette technique tient compte à la fois du trafic routier et de l'état du trafic sur le réseau, qui comprend trois éléments : le nombre de voisins N et la distance entre l'expéditeur et le voisin D représentent l'état du trafic routier, et le taux d'occupation du canal CBR reflète l'état du trafic sur le réseau.

La métrique du nombre de voisins N (Eq.1) indique la couverture des véhicules potentiels lors de la prochaine transmission. #Neighbor est le nombre instantané de voisins dans la liste des voisins. Max.#Neighbor est un nombre maximum prédéfini de voisins.

$$N = \min \left\{ \frac{\#Neighbor}{Max.\#Neighbor}, 1 \right\} \quad (1)$$

D est la métrique de la distance entre un expéditeur S et un voisin (Eq.2).  $Dist_{sn}$  est la distance entre un expéditeur S et un voisin. Max.RadioRange est la portée de communication maximale du support d'accès sans fil.

$$D = \min \left\{ \frac{Dist_{sn}}{Max.RadioRange}, 1 \right\} \quad (2)$$

La métrique CBR (Eq.3) décrit l'utilisation du canal du nœud local dans un intervalle de temps (1s). L'utilisation temporelle du canal occupé  $T_{busy}$  est obtenue à partir de la couche PHY de l'IEEE 802.11p.

$$CBR = \frac{T_{busy}}{Time\ Interval} \quad (3)$$

Ainsi, nous proposons une équation (Eq.4) pour attribuer une utilité de transmission  $U_{TX}$  plus élevée au voisin qui possède plus de voisins, plus éloignés et plus petits.

$$U_{TX} = (1 + N). (1 + D). (2 - CBR) \quad (4)$$

Selon l'équation 4, nous obtenons le  $U_{TX} \in [1,8]$  de chaque voisin. Tout d'abord, nous trions les voisins dans chaque groupe directionnel en fonction de leur  $U_{TX}$  par ordre décroissant. Ensuite, un tour de rôle est utilisé pour définir l'ordre final des voisins dans la liste de priorité, où le véhicule avec le  $U_{TX}$  le plus élevé dans le cluster directionnel C1 est placé en première position, suivi par le véhicule avec le  $U_{TX}$  le plus élevé dans le cluster directionnel C2, et ainsi de suite [23]. Cette méthode garantit l'équité pour chaque groupe directionnel.

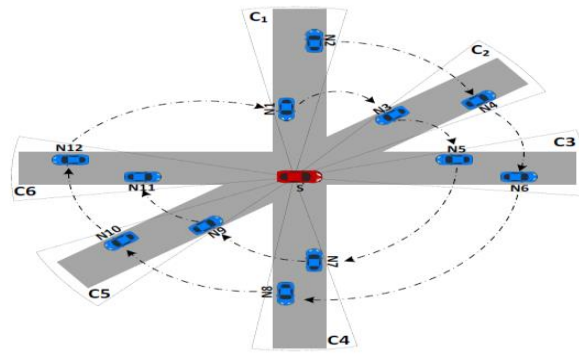
L'expéditeur S insère la liste de priorité dans l'en-tête du message de données avant la transmission. Le format de l'en-tête est le suivant : < ID des données, ID de l'expéditeur, ID de l'expéditeur, Position de l'expéditeur, Position de l'expéditeur, Liste de priorités >.

Lorsque les destinataires reçoivent le message de données de S, ils extraient la liste des priorités et trouvent leur ordre  $R \in [0, n - 1]$ ,  $n$  étant le nombre total de voisins. TrAD alloue un créneau de temps  $st$  pour chaque véhicule. Le délai de transmission  $Delay_{TX}$  est calculé à l'aide de l'équation 5.

$$Delay_{TX} = st.R \quad (5)$$

Comme indiqué dans l'équation (5-4), les voisins de chaque grappe directionnelle sont triés par ordre décroissant en termes d'utilité. Ensuite, une méthode round-robin est utilisée pour définir l'ordre final des véhicules dans la liste des priorités [106]. Pour une explication claire, la figure 5 illustre le processus de la technique de tri. Le véhicule ayant l'indice  $U_{TX}$  le plus élevé dans le groupe directionnel C1 est placé en première position de la liste de priorité, suivi par le véhicule ayant l'indice  $U_{TX}$  le plus élevé dans le groupe directionnel C2, etc. Cette méthode garantit l'équité pour chaque groupe directionnel. Par exemple, nous supposons que l'utilité  $U_{TX}$  des véhicules est proportionnelle à leur numéro d'identification dans la figure 3 par exemple  $U_{N2} > U_{N1}$ , ainsi, après le premier tour de tri, la liste de priorité est {N2, N4, N6, N8, N10, N12}. Au deuxième tour, tous les voisins sont triés et la liste de priorité finale est {N2, N4, N6, N8, N10, N12, N1, N3, N5, N7, N9, N11}.





**Figure II.5.** Le processus de tri de la liste de priorités. [16]

### II.5.2.2 Mécanisme SCF (Store-Carry-Forward)

Le mécanisme SCF comprend deux composantes : l'une est responsable de la sélection des véhicules appropriés pour être l'agent SCF. L'autre est une opération spéciale visant à supprimer les diffusions redondantes.

- **La sélection de l'agent SCF**

Nous présentons ici les techniques permettant d'identifier le coordinateur et le briseur. Un véhicule qui remplit l'une de ces conditions est sélectionné pour être un agent SCF.

- ✓ **Coordinateur** : Étant donné qu'une liste de positions d'intersection est préchargée dans le système, chaque véhicule peut vérifier la distance qui le sépare de toutes les intersections lorsqu'il reçoit un message de balise. Si une distance est inférieure à 20 mètres, le véhicule est considéré comme un coordinateur.
- ✓ **Disjoncteur** : Lorsque le véhicule reçoit un message de données, le protocole vérifie et élimine la possibilité d'un rôle de coordinateur. Ensuite, le véhicule vérifie si sa direction de conduite est la même que la direction de transmission des données. Si c'est le cas, le véhicule cherche s'il y a un autre voisin qui roule dans la direction de transmission des données. Si ce n'est pas le cas, le véhicule est défini comme un "breaker". Il convient de mentionner que cette procédure sera itérée jusqu'à la limite du réseau bien connecté.

Le coordinateur est spécifié pour la topologie bidimensionnelle d'un scénario urbain. La trajectoire du coordinateur après le passage d'une intersection est variable et ne peut pas être prédite. Par conséquent, le coordinateur est utile pour découvrir davantage de véhicules non

informés. Le breaker est défini à la fois pour les scénarios urbains et autoroutiers. Il peut transporter le message de données et se diriger vers l'extérieur d'un réseau bien connecté.

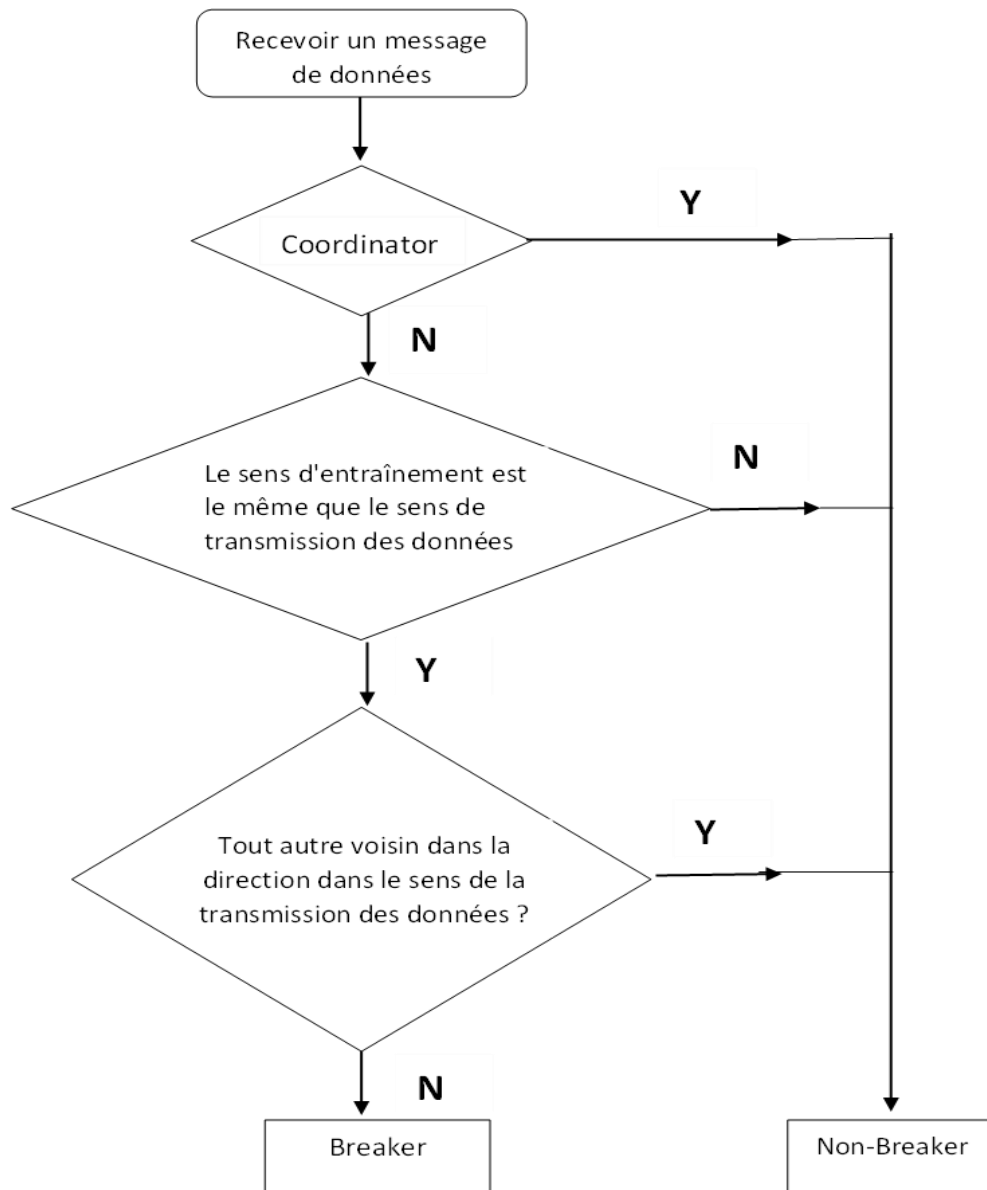


Figure II.6. L'organigramme de l'identification du disjoncteur. [16]

- **Technique de rediffusion sous contrainte SCF-agent**

Cette technique vise à déclencher la rediffusion du SCFagent et à le contraindre simultanément, si plusieurs SCF-agents reçoivent une même demande par (beacon). Nous concevons donc un système de créneaux horaires distribués pour calculer un délai de diffusion différent pour chaque agent SCF. Si un agent SCF reçoit un message de données redondant (écho) identique à celui qu'il est en train de programmer, il annulera la programmation et passera à un état d'inactivité.

Normalement, les véhicules non informés se dirigent vers les agents SCF depuis l'extérieur du réseau connecté où les agents SCF reçoivent le message de données. Par conséquent, nous concevons l'équation 6 pour calculer l'utilité d'un agent SCF  $U_{SCF}(U_{SCF} \in [1,4])$  qui attribue un  $U_{SCF}$  plus élevé à l'agent SCF qui possède une plus grande distance par rapport au véhicule non informé et un taux d'occupation du canal plus faible.

$$U_{SCF} = (2 - D).(2 - CBR) \quad (6)$$

Le délai de diffusion  $delay_{SCF}$  pour un agent SCF est calculé par l'équation 7. Cette équation attribue un délai plus court à l'agent SCF ayant un  $U_{SCF}$  plus élevé. Il convient de noter qu'un nouveau véhicule entrant non informer n'a normalement pas besoin d'un seul message de données. Il est possible qu'il ait besoin de plusieurs messages de données à la fois. Si le protocole ne contrôle pas correctement ce comportement, il y aura une série de transmissions. C'est pourquoi nous proposons l'équation 7 pour calculer  $delay_{SCF}$  :

$$delay_{SCF} = st. \left[ BurstCount + \left(1 - \frac{U_{SCF}}{4}\right) \right] \quad (7)$$

Nous donnons un temps de base  $st$  entre chaque message de données requis. Le  $BurstCount$  est l'ordre de transmission des messages de données. Pour un même message de données, la partie  $st. \left(1 - \frac{U_{SCF}}{4}\right)$  permet à un agent SCF ayant une utilité plus élevée  $U_{SCF}$  de transmettre en premier. Cette partie fonctionne également comme un délai supplémentaire, qui peut atténuer le problème de synchronisation des limites des créneaux horaires. Par exemple, dans la figure 1, les véhicules V7 et V8 sont les agents SCF qui transportent les nouveaux messages de données. Ils ont reçu la demande des véhicules qui les entourent. L'utilité  $U_{SCF}$  du véhicule V8 (0,8) étant supérieure à celle du véhicule V7 (0,5), le véhicule V8 est déclenché pour diffuser les messages de données en premier. V7 entend les données redondantes et annule

la programmation du même message de données. Ainsi, les transmissions redondantes sont supprimées.

### II.6 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons examiné différentes techniques de dissémination de données dans les réseaux véhiculaires (VANETs). Nous avons également abordé la classification des protocoles en fonction de divers critères. En outre, nous avons introduit un nouveau protocole adaptatif de diffusion de données appelé TrAD, spécialement conçu pour les environnements urbains et autoroutiers.

# **Chapitre III**

Simulations et  
Discussion des Résultats

### III.1 Introduction

L'objectif de la simulation est de concevoir, évaluer et optimiser les performances des protocoles de communication dans les réseaux VANETs afin d'améliorer la sécurité routière, la gestion du trafic et les services connectés pour les utilisateurs de la route. Les résultats de la simulation peuvent aider les développeurs à identifier les points forts et les faiblesses de différents protocoles de communication dans des environnements spécifiques et à améliorer leur efficacité avant leur déploiement sur le terrain. La simulation permet également de tester des protocoles VANETs et est considérée comme une alternative aux expériences très coûteuses dans le monde réel.

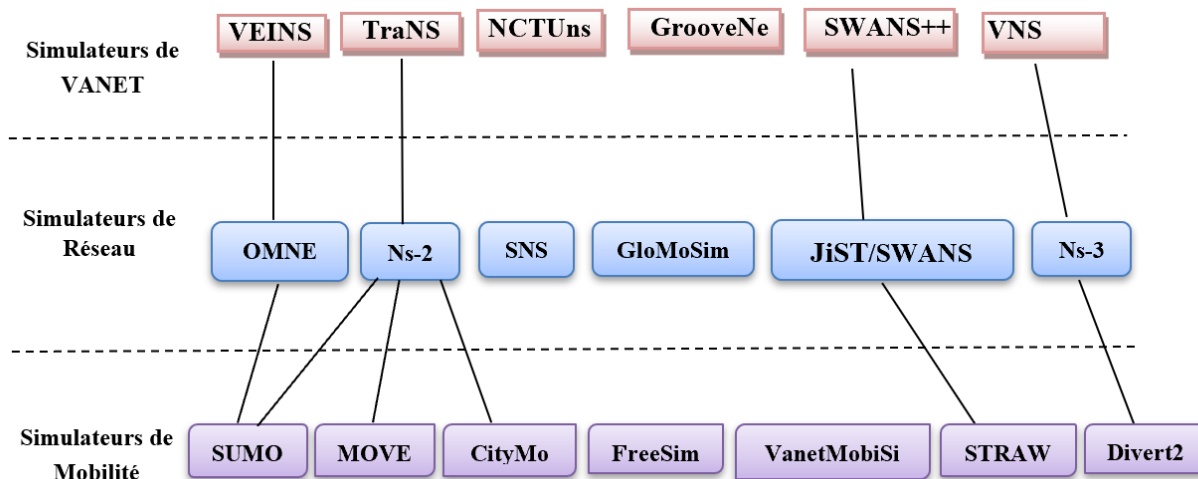
Dans ce chapitre nous simulons, analysons et comparons un protocole de dissémination de donnée bien connu TRAD sur la ville de Tlemcen et également sur le plan de Manhattan. De ce fait, on utilise les simulateurs OMNET ++, VEINS et SUMO. Nous commençons ce chapitre par une présentation puis une comparaison des simulateurs VANETs utilisés dans la littérature.

### III.2 Classification des simulateurs VANETs

La simulation des réseaux VANETs est d'une importance cruciale pour évaluer les capacités des systèmes et développer de nouvelles approches. Le simulateur VANET se compose de deux types de composants : le réseau et la mobilité. Généralement, ces deux aspects sont gérés par des simulateurs distincts. Plusieurs simulateurs sont disponibles pour la simulation de VANET. On peut les classer en trois catégories :

- ✓ Les simulateurs de mobilité qui s'occupent du mouvement des véhicules.
- ✓ Les simulateurs de réseau.
- ✓ Les logiciels intégrés combinant à la fois la mobilité et le réseau (simulateurs VANET).

La figure 1 présente les différents simulateurs VANETs.



**Figure III.1.** Classification des simulateurs VANET [37]

### III.2.1 Les Simulateurs de mobilité

Le simulateur de trafic routier génère des traces de mobilité réalistes des véhicules, nécessaires en tant qu'entrée pour le simulateur de réseau. Les simulations de mobilité des véhicules sont généralement classées en deux types : macroscopique et microscopique. Le modèle macroscopique se concentre sur la mobilité des flux de voitures sans prendre en compte chaque voiture individuellement. Dans ce type de simulation, des caractéristiques telles que la densité de trafic ou les flux de trafic sont définis. En revanche, le modèle microscopique adopte une approche plus détaillée en prenant en compte le déplacement et le comportement individuel de chaque véhicule.

Dans le contexte de la simulation VANET, le modèle microscopique est utilisé. Les paramètres requis pour le générateur de mobilité peuvent inclure la carte des routes, le scénario de circulation des voitures ainsi que des paramètres spécifiques aux routes et aux véhicules tels que ; la vitesse maximale, les limitations de voie, les heures d'arrivée et de départ de chaque véhicule, etc. En sortie, on obtient les coordonnées de chaque véhicule à tout moment, ainsi que leurs paramètres de mobilité tels que la vitesse, l'accélération, etc. Le Tableau 1 affiche une liste détaillée des générateurs de mobilité véhiculaire avec leurs principales fonctionnalités. [38]

Paramètres	Générateurs de mobilité					
	CityMob	FreeSim	MOVE	SUMO	STRAW	VanetMobiSim
<b>1. Caractéristiques du logiciel</b>						
Source ouverte	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Portabilité	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Logiciels gratuits	A	A	A	A	A	A
Console	✓	x	✓	✓	-	x
Exemples disponibles	x	✓	✓	✓	-	✓
Développement continu	✓	-	x	✓	X	x
Facilité d'installation	Facile	Facile	Facile	Modéré	Modéré	Modéré
Facilité d'utilisation	Facile	Facile	Modéré	Difficile	Modéré	Modéré
<b>2. Types de cartes</b>						
Défini par l'utilisateur	x	x	✓	✓	-	✓
Réel	x	✓	✓	✓	✓	✓
Aléatoire	✓	x	✓	✓	X	✓
<b>3. Modèles de mobilité</b>						
Modèles de trafic au centre-Ville	✓	x	x	x	X	x
Point de repère aléatoire	✓	x	✓	✓	X	✓
Routes à voies multiples	✓	-	✓	✓	✓	✓
Contraintes de vitesse	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Microscopique	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Macroscopique	x	✓	x	x	X	x
Changement de voie	✓	-	✓	✓	✓	✓
Mouvement sans collision	✓	-	✓	✓	-	-
Gestion des intersections	x	-	✓	✓	-	✓
Calcul d'itinéraire	x	✓	✓	✓	✓	✓
<b>4. Configuration des traces</b>						
Support QualNet	x	x	✓	x	X	✓
Support de trace NS-2	✓	x	✓	x	X	✓
Support SWANS	x	x	x	x	✓	x
Support GloMoSim	x	x	✓	x	X	✓
Support de trace basé sur XML.	x	x	x	x	X	✓

Tableau III.1. Comparaison entre les simulateurs de mobilité .[38]



### III.2.2 Les Simulateurs de réseau

Les simulateurs de réseau permettent aux chercheurs d'étudier le comportement du réseau dans différentes conditions.. Comparés au coût et au temps nécessaires pour mettre en place un scénario d'essai complet comprenant plusieurs véhicules en réseau, les simulateurs de réseau sont relativement rapides et peu coûteux. Ils permettent donc aux chercheurs de tester des scénarios qui pourraient être particulièrement difficiles et coûteux à reproduire dans le monde réel, notamment dans les VANET (réseaux de véhicules ad hoc).

Les simulateurs de réseau sont particulièrement utiles pour tester de nouveaux protocoles de mise en réseau ou proposer des modifications à ceux déjà existants de manière contrôlée et reproductible. Le Tableau 2 présente une liste des simulateurs de réseaux existants et de leurs fonctionnalités.

Paramètres	Simulateurs de réseaux					
	NS- 2	NS-3	GloMoSim	SNS	JiST	OMNET++
<b>1. Caractéristiques du logiciel</b>						
Source ouverte	✓	✓	x	✓	✓	✓
Console	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Développement continu	✓	✓	x	x	✓	✓
Portabilité	✓	x	✓	✓	✓	✓
Exemples disponibles	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Logiciels gratuits	✓	✓	✓	✓	✓	✓
GUI	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Scabilité	Faible	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée	Élevée
Facilité d'installation	Difficile	Facile	Modéré	Facile	Difficile	Facile
Facilité d'utilisation	Difficile	Facile	Difficile	Difficile	Difficile	Facile
<b>2. VANETs</b>						
802.11p	Seulement pour NS-2.33	✓	x	x	x	✓
Obstacles	x	✓	x	x	x	✓
Modèle de circulation des véhicules	✓	✓	x	x	x	✓
Capteurs	✓	✓	-	✓	✓	✓
LTE	x	✓	x	x	x	✓

Tableau III.2. Comparaison entre les simulateurs de réseaux. [38]

III.2.3 Les Simulateurs VANET

Les simulateurs VANET présentent à la fois la simulation du réseau et la simulation du mouvement du trafic ou peuvent combiner un simulateur de trafic et de réseau. Dans le Tableau 3, une comparaison entre des simulateurs VANETs est présentée.

Criteria/simulators	GrooveNet	TraNS	NCTUns	VEINS
Portability	x	x	X	√
Freeware	√	√	X	√
Open source	√	√	X	√
Language	C++	Java,C++	C++	C++
Documentation	x	√	√	√
Available examples	x	√	X	√
Continuous development	x	x	√	√
Console	x	x	X	√
GUI	√	√	√	√
Ease of setup	Moderate	Moderate	Hard	Easy
Ease of use	Moderate	Moderate	Moderate	Easy
Platooning	x	x	X	√
Hybrid	√	x	√	√
Realistic propagation models	√	√	√	√
Scalability	√	√	√	√

Tableau III.3. Comparaison entre les simulateurs de VANET.[38]

### III.3 Environnement de travail

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

#### III.3.1 Système d'exploitation

Microsoft Windows 10.

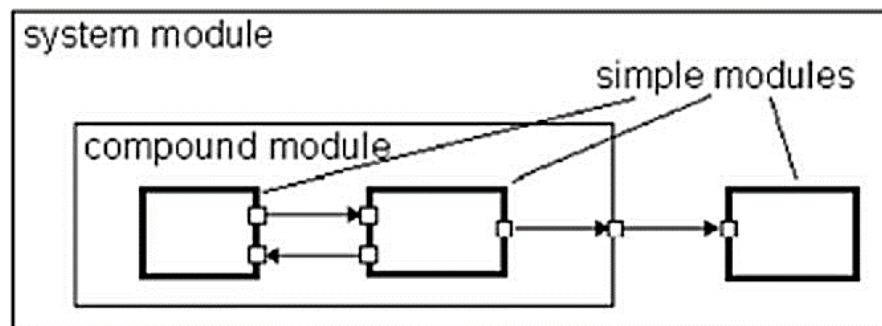
#### III.3.2 OMNeT++ 4.6

OMNET++ est un simulateur de réseau open-source basé sur des composants qui permettent de modéliser, simuler et analyser les performances des réseaux de communication. Il est particulièrement utilisé pour la recherche et le développement de protocoles de communication, de réseaux sans fil, de réseaux de capteurs et de réseaux de véhicules ad hoc (VANET). Il permet de créer des modèles de réseau à différents niveaux d'abstraction, en utilisant des blocs de construction modulaires appelés "modules". Ces modules peuvent être combinés pour créer des modèles de réseau complexes et réalistes.

##### III.3.2.1 Architecture d'OMNeT++

L'architecture du modèle OMNeT++ se compose de plusieurs modules hiérarchiquement imbriqués qui sont :

- a) Le module système
- b) Modules simples (les feuilles) : programmés en C++ encapsulant le comportement d'un élément réel d'un système. Pour chaque module simple correspond un fichier.cc et un fichier.h.
- c) Modules composés : constitués d'un ou de plusieurs modules simples ou des modules composés reliés entre eux. Les paramètres, les ports de chaque module sont spécifiés dans un fichier.ned. L'architecture d'OMNET++ est visualisée dans la figure suivante :



**Figure III.2.** Architecture modulaire du simulateur OMNeT++ [39].

Dans la construction d'un nouveau programme de simulation, les informations sur la topologie du réseau sont chargées à partir de fichiers .ned, les configurations sont spécifiées dans des fichiers.ini, et des fichiers trace sont générés pendant la simulation pour enregistrer les données importantes. Ces éléments sont essentiels pour configurer et exécuter des simulations précises et pour analyser les résultats obtenus. [39]

### **III.3.3 Le simulateur de mobilité SUMO 0.25.0**

SUMO (Simulation of Urban Mobility) est un simulateur de trafic open source qui simule le mouvement des véhicules dans un environnement routier. En particulier, il est utilisé dans la recherche et le développement de systèmes de transport intelligents, de réseaux de véhicules autonomes et de réseaux de véhicules ad hoc (VANET). Fournit une modélisation détaillée de la topologie du réseau routier, des caractéristiques du trafic et du comportement des véhicules. Différents types de véhicules peuvent être simulés. SUMO nous permet également de définir des scénarios de trafic personnalisés pour simuler différents cas d'utilisation et scénarios de réseau. SUMO peut être utilisé pour générer des données de mobilité réalistes pour les réseaux VANET et d'autres types de réseaux de communication. Les données de mobilité générées par SUMO peuvent être utilisées pour simuler la communication de véhicule à véhicule, la communication de véhicule à véhicule et l'analyse des performances des protocoles de communication et des algorithmes de routage.

L'interopérabilité avec d'autres applications lors de l'exécution nous a permis de l'interconnecter avec OMNeT++ via une connexion TCP avec une seule ligne dans l'invite de commande (Mingwenv) :

```
/c/veins-veins-4.4/sumo-launchd.py --v -c /c/sumo/bin/sumo.exe
```

### **III.3.4 VEINS Framework 4.4**

VEINS [39] (Vehicular Network Simulation Framework) est un projet open source Inter-Véhicules communication (IVC) simulation Framework composé d'un simulateur de réseau basé sur les événements et un modèle de micro-traffic de la route. Veins utilise deux simulateurs distincts, OMNeT++ pour la simulation de réseau et SUMO pour la simulation du trafic routier. Pour effectuer des évaluations IVC, deux simulateurs sont en cours d'exécution en parallèle, connecté via un socket TCP. Le protocole de cette communication a été normalisé comme l'interface de contrôle du trafic (Traci). Ceci permet la simulation bidirectionnelle-couplée du trafic routier et le trafic réseau. Le mouvement des véhicules en simulateur de trafic routier (SUMO) se traduit par un mouvement des nœuds dans le simulateur OMNeT++. Les nœuds peuvent alors interagir avec la simulation du trafic

roumier de déplacement, par exemple, pour simuler l'influence d'IVC sur le trafic routier.

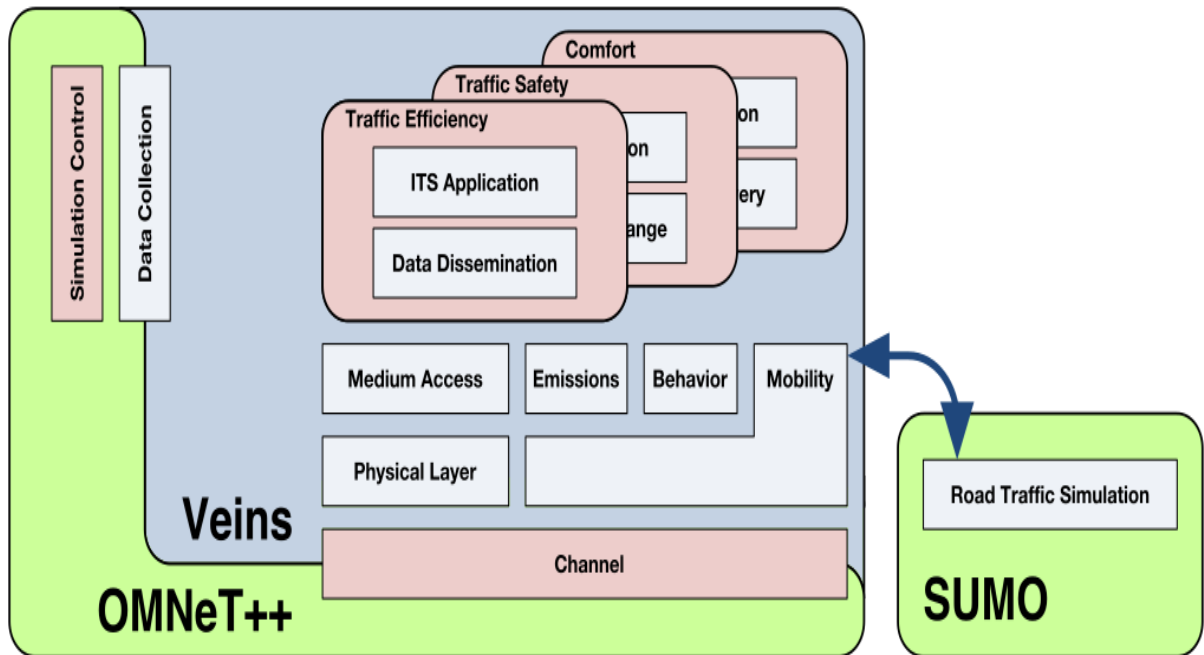


Figure III.3. Architecture générale de Veins

III.3.5 La liaison OMNET++, VEINS et SUMO

La connexion TCP avec TraCI représente une passerelle essentielle vers des simulations de trafic avancées. Elle facilite la collecte d'informations, le contrôle des entités de la simulation et la mise en œuvre d'algorithmes personnalisés pour analyser, optimiser et résoudre des problèmes de mobilité complexe. Le schéma suivant montre les relations entre les différentes parties de l'environnement de travail :

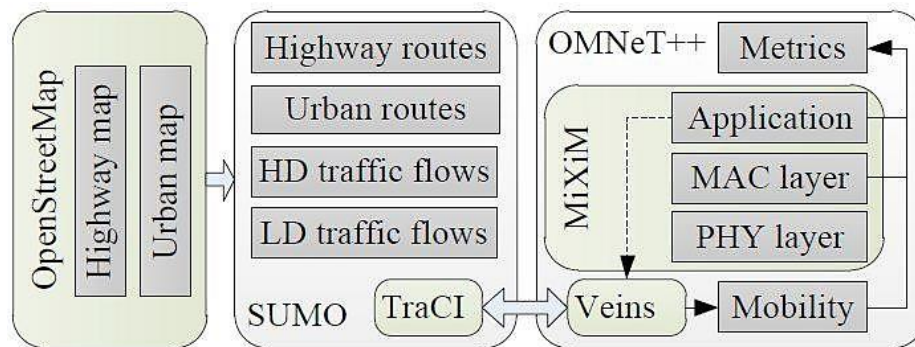


Figure III.4. Architecture de l'environnement de travail [41]

### III.4 Etapes de la simulation

#### III.4.1 Simulation dans la ville de Tlemcen

##### III.4.1.1 Rechercher et télécharger une carte réelle à partir d'OSM

Plusieurs outils sont disponibles pour la génération d'une carte et du trafic routier tels que MOVE, Google Earth et bien d'autres, mais Open Street Map est le plus important parmi tous les autres en raison de sa capacité précise à zoomer et dézoomer. OSM est un projet qui se concentre sur la collecte de données géographiques librement disponibles et modifiables, aidant ainsi à créer des cartes et divers autres services. L'introduction et l'adoption des données géographiques sont principalement réalisées par les bénévoles. A l'aide de données obtenues à partir de photos aériennes et à l'aide d'un appareil GPS, environ 20 millions de kilomètres de routes, de sentiers pédestres et de pistes cyclables ont déjà été cartographiés

Pour notre recherche, nous avons pris en compte la carte de la ville de Tlemcen. La zone dont la carte a été téléchargée est la région de Chetouane, de Tlemcen . Comme le montre la figure 5.

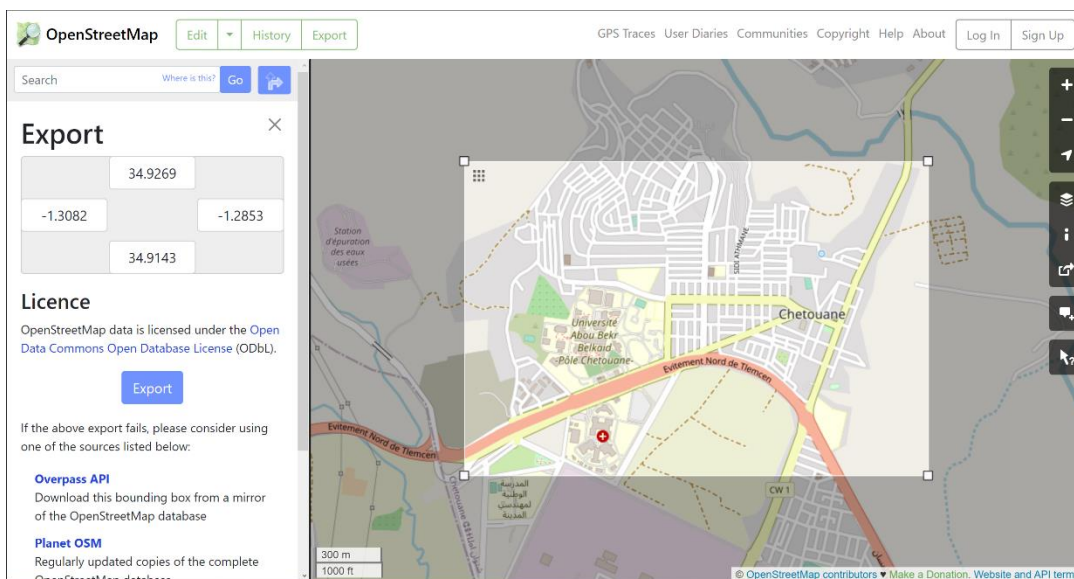


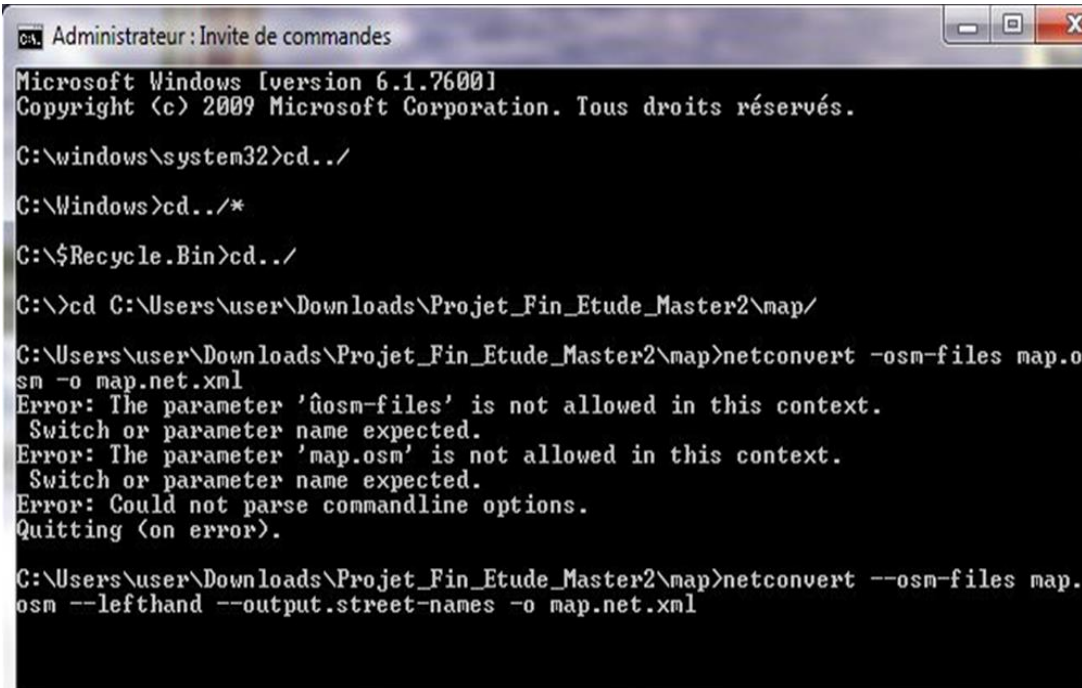
Figure III.5. Zone sélectionnée par OSM

### III.4.1.2 Convertir la carte en SUMO Network

Conversion de la carte en un réseau SUMO en utilisant la commande :

**netconvert** - -osm-files map.osm - o tlemcen.net.xml .

comme illustré dans la figure 6.



```

Administrateur : Invite de commandes
Microsoft Windows [version 6.1.7600]
Copyright (c) 2009 Microsoft Corporation. Tous droits réservés.

C:\windows\system32>cd ../
C:\Windows>cd ../
C:\$Recycle.Bin>cd ../
C:\>cd C:\Users\user\Downloads\Projet_Fin_Etude_Master2\map/
C:\Users\user\Downloads\Projet_Fin_Etude_Master2\map>netconvert -osm-files map.o
sm -o map.net.xml
Error: The parameter 'osm-files' is not allowed in this context.
Switch or parameter name expected.
Error: The parameter 'map.osm' is not allowed in this context.
Switch or parameter name expected.
Error: Could not parse commandline options.
Quitting (on error).

C:\Users\user\Downloads\Projet_Fin_Etude_Master2\map>netconvert --osm-files map.
osm --lefthand --output.street-names -o map.net.xml

```

Figure .III.6 Création d'un réseau de zones sélectionnées

### III.4.1.3 Ajout de trajets et des itinéraires au réseau à l'aide de scripts Python intégrés

Le script Python s'appelle "randomTrips.py" qui génère un ensemble de trajets aléatoires pour un réseau donné (option -n). Pour ce faire, il choisit les nœuds source et destination soit uniformément au hasard, soit avec une distribution modifiée. Les trajets résultants sont stockés dans un fichier XML (option -o, par défaut flows.xml). Les trajets sont répartis uniformément dans un intervalle défini par l'heure de début (option -b, par défaut 0) et l'heure de fin (option -e, par défaut 3600) en secondes. L'option '--flows' définit le nombre de véhicules (Il assigne un nombre défini de véhicules par la valeur 'densité', et chaque véhicule lui sera attribué un trajet) qui circuleront dans le réseau. L'option **--jtrrouter** doit être activée pour générer des flux sans destination. Sinon, les véhicules générés pourraient terminer leur trajet trop tôt. Les arguments fournis à l'option **--trip-attributes** sont définis de manière à permettre à plusieurs véhicules d'entrer dans le tronçon source dès la première étape. Un exemple d'appel est donné ci-dessous.

**py randomTrips.py '--flows', str(int(densité)),**



```

    '-b', '0',
    '-e', '1',
    '-n', 'tlemcen.net.xml',
    '-o', 'flows.xml'

    '--jtrrouter',
    '--trip-attributes', 'departPos="random"
departSpeed="max"'])

```

La Figure 7 affiche plusieurs trajets. Ce script ne vérifie pas si la destination choisie est accessible depuis la source. Cette tâche est effectuée par le `jtrrouter`. Si le réseau n'est pas entièrement connecté, certains trajets peuvent être ignorés. Le `jtrrouter` calcule les routes pouvant être utilisés par `sumo` en fonction des volumes de trafic et des taux de rotation des jonctions (option `-T`). Un fichier séparé pour les routes sera également généré, représentant le nœud de départ et le nœud d'arrivée, comme illustré dans la Figure 8.

Py `jtrrouter`

```

'-n', 'tlemcen.net.xml',
'-r', 'flows.xml',
'-o', 'trips.trips.xml',
'-T', '25,50,25',
'-A',
'--allow-loops'])

```

```

C:\Users> ahmed > Downloads > map.rou.xml
35 <vehicle id="0" depart="0.00">
36 | <route edges="314270398#0 314270398#2 314270398#3 91014350#1 518133798#4 99727473 314271909 314271853 269008185#2
37 | </route>
38 </vehicle>
39 <vehicle id="2" depart="2.00">
40 | <route edges="314273478#0"/>
41 </route>
42 </vehicle>
43 <vehicle id="3" depart="3.00">
44 | <route edges="91028560 -41937581#2 -41937581#1 -41937581#0 314322209#0 314322209#1 96097641#8 96097641#9 96097641#0 96097641#
45 | </route>
46 </vehicle>
47 <vehicle id="4" depart="4.00">
48 | <route edges="-577566363#1 -577566363#0 -427553552 101184499#0 -101186616#2 -101186616#1 -101186616#0 -95745213#9 -95745213#8
49 | </route>
50 </vehicle>
51 <vehicle id="5" depart="5.00">
52 | <route edges="267953613#3 -304645462#11 -304645462#10 -304645462#9 -314195342#8 -314195342#7 314195341#3 -304645462#6 -304645
53 | </route>
54 </vehicle>
55 <vehicle id="6" depart="6.00">
56 | <route edges="296577962#0 296577962#3 296577962#4 -101184499#0 90991121#9 240216987#0 240216987#1 240216987#2 240216987#3 515
57 | </route>
58 </vehicle>
59 <vehicle id="7" depart="7.00">
60 | <route edges="-99739761#2 -99739761#1 -99739761#0 -269008188#4 -269008188#3 -269008188#2 -269008188#1 -269008188#0 419530497#
61 | </route>
62 </vehicle>
63 <vehicle id="8" depart="8.00">
64 | <route edges="90991121#4 90991121#5 90991121#6 90991121#7 90991121#8 90991121#9 240216987#0 240216987#1 240216987#2 240216987
65 | </route>
66 </vehicle>
67 <vehicle id="9" depart="9.00">
68 | <route edges="304645462#3 304645462#4 -220104136#4 -220104136#3 -220104136#2 -220104136#1 -220104136#0 -220104137#1 -22010413
69 | </route>
70 </vehicle>
71 <vehicle id="10" depart="10.00">
72 | <route edges="-419339147#1 -419339147#0 309953641#8 -93437167#1 -93437167#0 90990364#0 -90990365#6 -90990365#5 -90990365#4 -9
73 | </route>
74 </vehicle>
75 <vehicle id="11" depart="11.00">
76 | <route edges="100026163#1 -132654048#2 -100026149#3 -100026149#2 -100026149#1 -100026149#0 90991120 724393672 90634829#0 -724
77 | </route>

```

Figure III.7. Fichier de trajets `flows.xml`

```

map.rou.alt.xml  map.rou.xml  map.poly.xml  trips.trips.xml  osmNetconvert.typ.xml
C: > Users > ahmed > Downloads > trips.trips.xml
1  <?xml version="1.0"?>
2  <!-- generated on 2023-02-28 13:23:41.113000 by $Id: route2trips.py 18237 2015-04-20 10:43:52Z namdre $ -->
3  <trips>
4  <trip id="0" depart="0.00" from="314270398#0" to="100020439#4"/>
5  <trip id="2" depart="2.00" from="314273478#0" to="314273478#0"/>
6  <trip id="3" depart="3.00" from="91028560" to="-91014354#2"/>
7  <trip id="4" depart="4.00" from="-577566363#1" to="99739728#3"/>
8  <trip id="5" depart="5.00" from="267953613#3" to="-94132025#0"/>
9  <trip id="6" depart="6.00" from="296577962#0" to="-96091295#0"/>
10 <trip id="7" depart="7.00" from="-99739761#2" to="481566570#2"/>
11 <trip id="8" depart="8.00" from="90991121#4" to="-41937585#5"/>
12 <trip id="9" depart="9.00" from="304645462#3" to="-100020500#2"/>
13 <trip id="10" depart="10.00" from="-419339147#1" to="314304429"/>
14 <trip id="11" depart="11.00" from="100026163#1" to="88496057#9"/>
15 <trip id="12" depart="12.00" from="90990365#6" to="-100026157#0"/>
16 <trip id="13" depart="13.00" from="-314183520#0" to="960707584#1"/>
17 <trip id="14" depart="14.00" from="-309953641#1" to="305252318#2"/>
18 <trip id="15" depart="15.00" from="684005165" to="-296577959#2"/>
19 <trip id="16" depart="16.00" from="-314190673#0" to="99739766#1"/>
20 <trip id="17" depart="17.00" from="-41937584#2" to="267953613#0"/>
21 <trip id="18" depart="18.00" from="309953659#0" to="-318015351#1"/>
22 <trip id="19" depart="19.00" from="-91036588#1" to="518133807#6"/>
23 <trip id="21" depart="21.00" from="246023583#1" to="314273482#0"/>
24 <trip id="22" depart="22.00" from="517104963#4" to="-958878860#0"/>
25 <trip id="23" depart="23.00" from="-88496057#3" to="269008177"/>
26 <trip id="24" depart="24.00" from="314177273#1" to="-960707584#1"/>
27 <trip id="25" depart="25.00" from="-410369304" to="-314171824#4"/>
28 <trip id="26" depart="26.00" from="267953613#4" to="-518127916#0"/>
29 <trip id="27" depart="27.00" from="95737345#6" to="-517451027"/>
30 <trip id="29" depart="29.00" from="-96091295#1" to="41937584#5"/>
31 <trip id="30" depart="30.00" from="-681246913#2" to="386053913#5"/>
32 <trip id="31" depart="31.00" from="304645462#3" to="99739766#1"/>

```

Figure III.8. Fichier des route du réseau trips.trips.xml

III.4.1.1.4 Établir le fichier de configuration et exécuter le réseau

À cette étape, le fichier de configuration SUMO doit être créé avec une extension .sumocfg. La sortie du fichier de configuration SUMO permettra de générer la carte routière et le flux de trafic. Le réseau importé à partir d'OSM est illustré dans la Figure 9 .

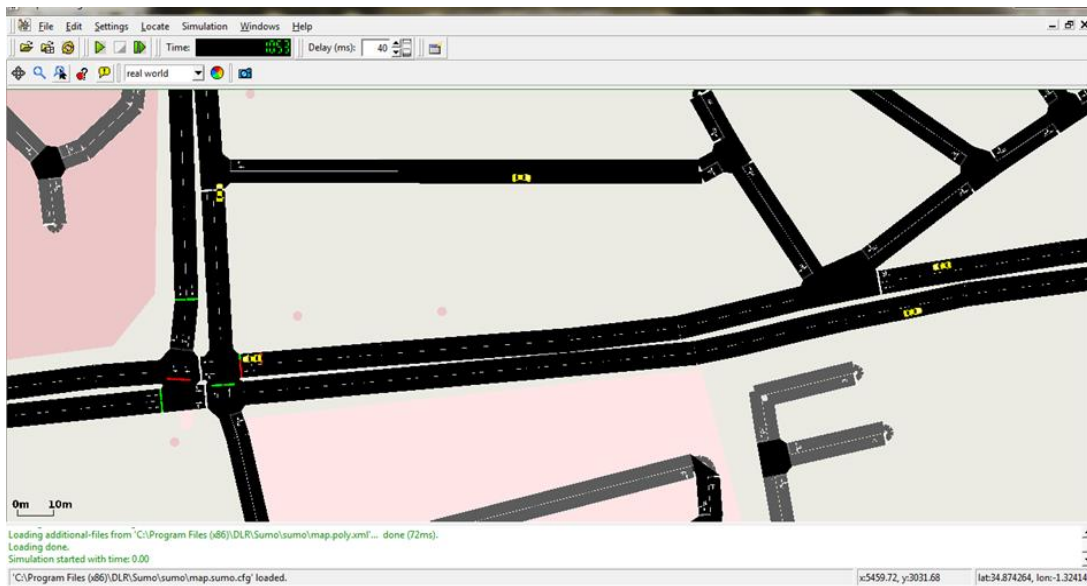


Figure III.9. Fenêtre de la simulation de la carte de Tlemcen sur SUMO

### III.4.2 Simulation du plan de Manhattan

Le modèle de mobilité Manhattan est utilisé pour émuler le modèle de circulation des nœuds mobiles dans des rues définies par des cartes. Un exemple de la carte de Manhattan utilisée est présenté dans Figure (III.10). Ce modèle peut être utile dans la modélisation de circulation dans une zone urbaine où un service d'échange informatique entre appareils portables est prévu. Une carte est composée d'un certain nombre de rues horizontales et verticales. Chaque rue a deux voies dans chaque direction (les directions Nord et Sud en rues verticales, l'Est et l'Ouest en rues horizontaux). Le nœud mobile est autorisé à se déplacer selon la grille des rues horizontales et verticales sur la carte. À l'intersection d'une rue horizontale et d'une rue verticale, le nœud mobile peut tourner à gauche, à droite ou aller tout droit. Ce choix est probabiliste : la probabilité de passer dans la même rue est de 0,5, la probabilité de virage à gauche est de 0,25 et la probabilité de tourner à droite est de 0,25. La vitesse d'un nœud mobile durant une tranche horaire dépend de la vitesse lors de la dernière tranche horaire, elle est limitée par la vitesse du nœud précédent sur la même voie de la rue.

#### III.4.2.1 Création du réseau

L'application `netgenerate` prend en charge la création de réseaux de grille Manhattan. L'option `--grid` permet de générer ces réseaux de grille. On peut définir le nombre de cellules de la grille en utilisant l'option `--grid.number`. Il existe diverses options permettant de configurer la taille et le nombre de cellules, ainsi que de modifier le nombre de voies et les types d'intersections. Le réseau est créé en lançant l'application :

```
netgenerate -c manhattan/data/manhattan.netgcfg
```

#### III.4.2.2 Génération des véhicules

Dans un modèle de mobilité Manhattan, les véhicules se déplacent de manière aléatoire en suivant des ratios de virage spécifiés. Ce type de mobilité est pris en charge par l'application `jtrrouter`. Pour utiliser cette application, il est nécessaire de fournir des définitions de flux (`<flow>`) afin de définir le point de départ et les horaires de départ des véhicules.

- **Génération de flux aléatoires pour `jtrrouter`**

L'outil `randomTrips.py` peut être utilisé pour générer des flux aléatoires appropriés avec les options suivantes.

```
<SUMO_HOME>/tools/randomTrips.py -n net.net.xml -o flows.xml --
begin 0 --end 1 \--flows 100 --jtrrouter \--trip-
attributes 'departPos="random" departSpeed="max"'
```

L'option **--flows 100** définit le nombre de véhicules qui circuleront dans le réseau. Habituellement, un `<flow>` est utilisé pour définir plusieurs véhicules, mais dans ce cas, chaque flux génère un seul véhicule au début de la simulation (d'où l'option **--end 1**). L'option **--jtrrouter** doit être activée pour générer des flux sans destination. Sinon, les véhicules générés pourraient terminer leur trajet trop tôt. Les arguments fournis à l'option **--trip-attributes** sont définis de manière à permettre à plusieurs véhicules d'entrer dans le tronçon source dès la première étape.

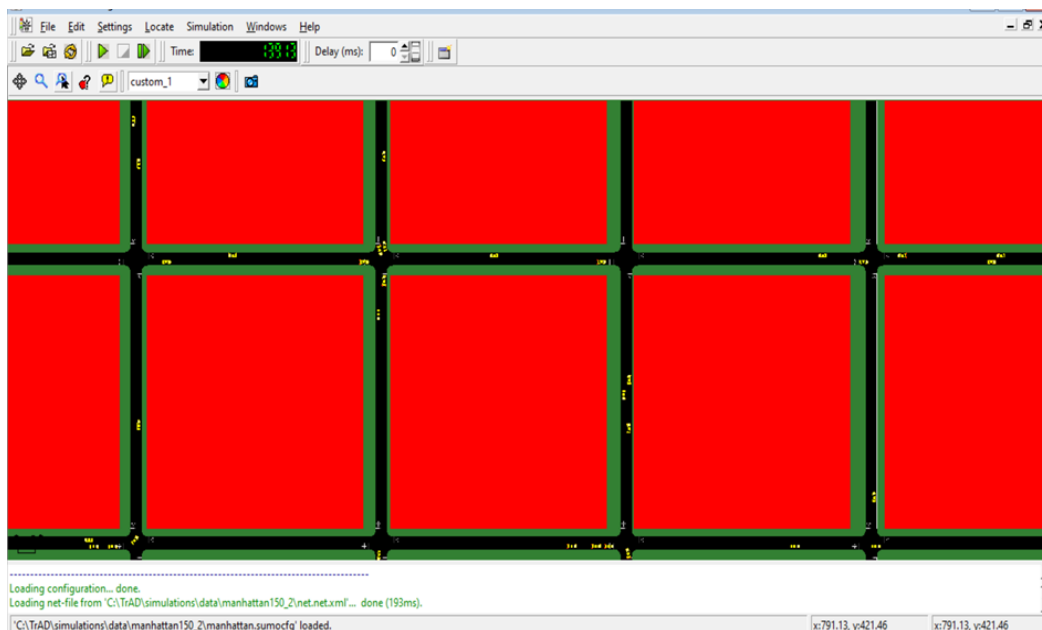
Ces options sont également encodées dans le script `runner.py`.

- **Appel de jtrrouter**

L'application `jtrrouter` est invoquée en utilisant les flux aléatoires générés. Afin d'assurer des itinéraires d'une longueur suffisante, l'option **--allow-loops** doit être activée. Étant donné qu'aucune destination n'est définie, l'option **--accept-all-destinations** est utilisée. Les ratios de virage par défaut pour le modèle de mobilité Manhattan (25% à droite, 50% tout droit, 25% à gauche) sont spécifiés via l'option **--turn-defaults 25,50,25**.

Les véhicules sont créés en les appelant :

```
jtrrouter -c manhattan/data/manhattan.jtrrcfg
```



**Figure III.10.** Fenêtre de la simulation de la carte de Manhattan

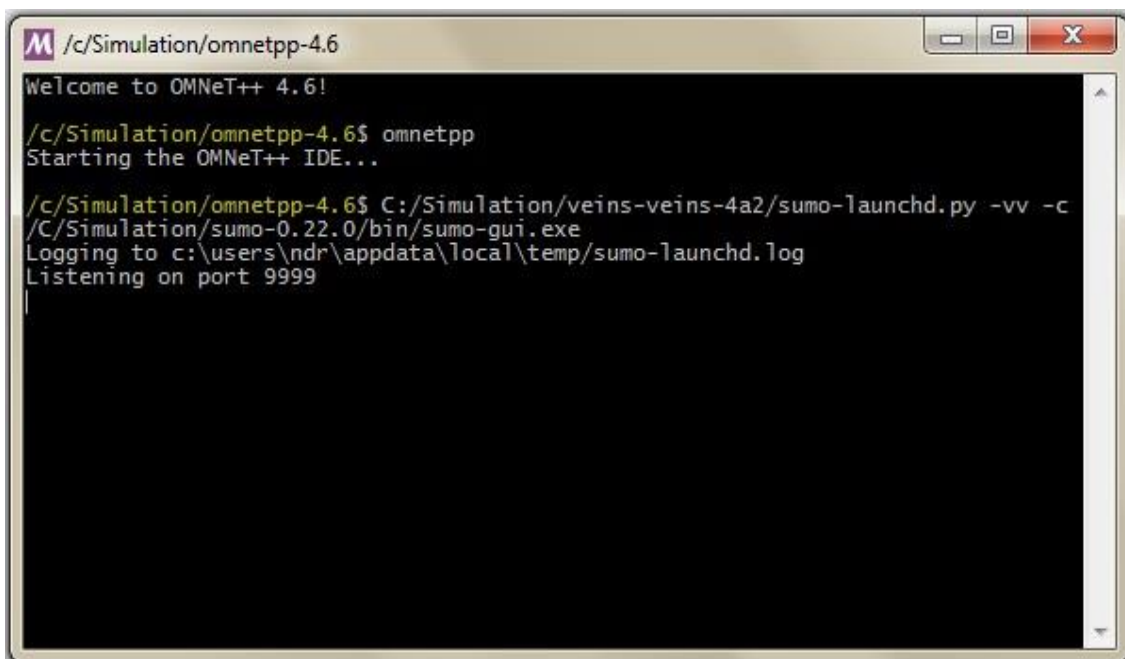
### III.4.3 Lancement de la simulation

Avant de lancer la simulation, il est recommandé de nettoyer les variables locales de Veins. Pour ce faire dans l'espace de travail d'OMNeT++, vous pouvez effectuer un clic droit et sélectionner les options suivantes : "Clean Local" -> "Clean Project" -> "Build Project".

Pour exécuter la simulation, il est nécessaire de lancer à la fois SUMO et OMNeT++. C'est pourquoi VEINS est livré avec un petit script Python qui établit une connexion TCP proxy entre OMNeT++ et SUMO. Ce script lance une nouvelle instance de la simulation SUMO pour chaque connexion OMNeT++. Pour exécuter ce script, nous pouvons ouvrir l'invite de commande et saisir la commande suivante :

```
C:/Simulation/veins-veins-4a2/sumo-launchd.py -vv -c /C/Simulation/sumo 0.22.0/bin/sumo-gui.exe
```

Pour pouvoir le démarrer on entre d'abord dans le chemin de Veins sur OMNeT++, le script va écouter sur le port 9999, comme il est illustré à la figure ci-dessus :



```
M /c/Simulation/omnetpp-4.6
Welcome to OMNeT++ 4.6!
/c/Simulation/omnetpp-4.6$ omnetpp
Starting the OMNeT++ IDE...
/c/Simulation/omnetpp-4.6$ C:/Simulation/veins-veins-4a2/sumo-launchd.py -vv -c
/C/Simulation/sumo-0.22.0/bin/sumo-gui.exe
Logging to c:\users\ndr\AppData\Local\temp\sumo-launchd.log
Listening on port 9999
```

Figure III.11. Ouverture et écoute sur le port TCP 9999

Cliquez ensuite avec le bouton droit sur **omnetpp.ini** et sélectionnez **Run As**, comme illustré à la Figure 12

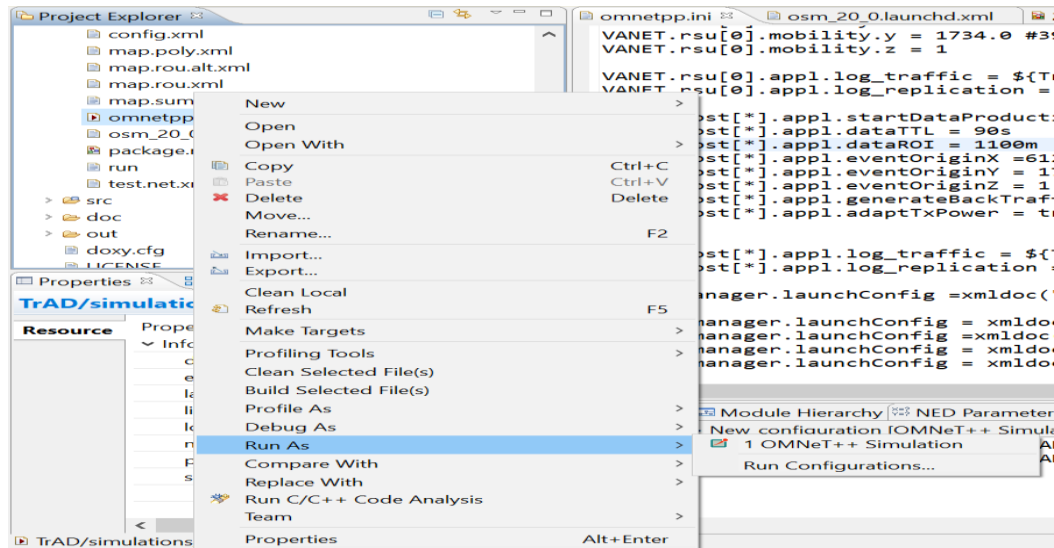


Figure III.12. Exécution omnetpp.ini

Ensuite, On clique sur **RUN** pour pouvoir démarrer notre exemple de simulation, comme illustré à la figure 13

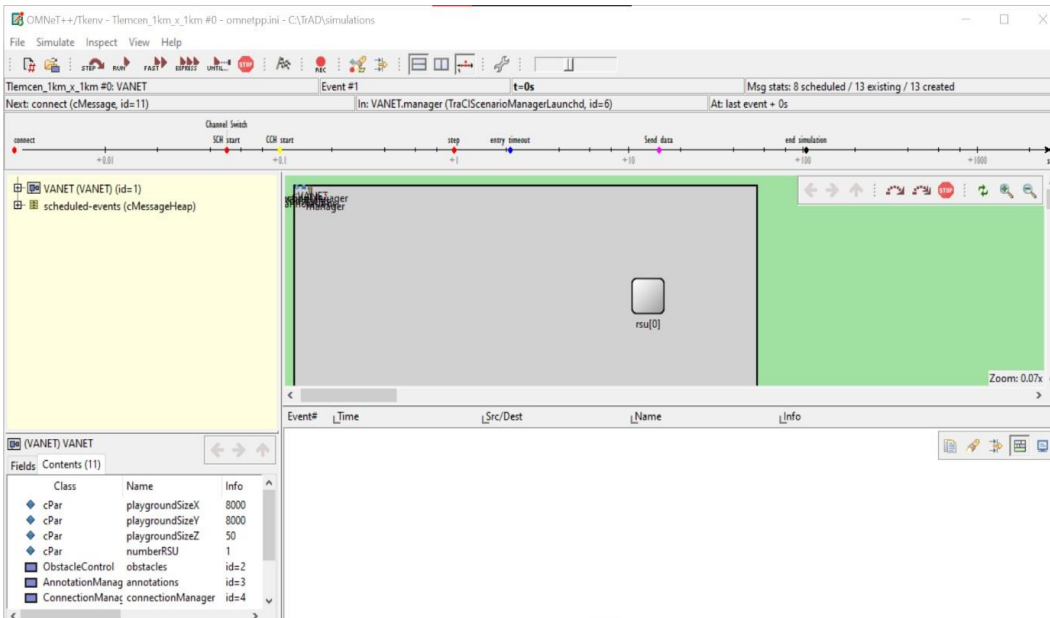
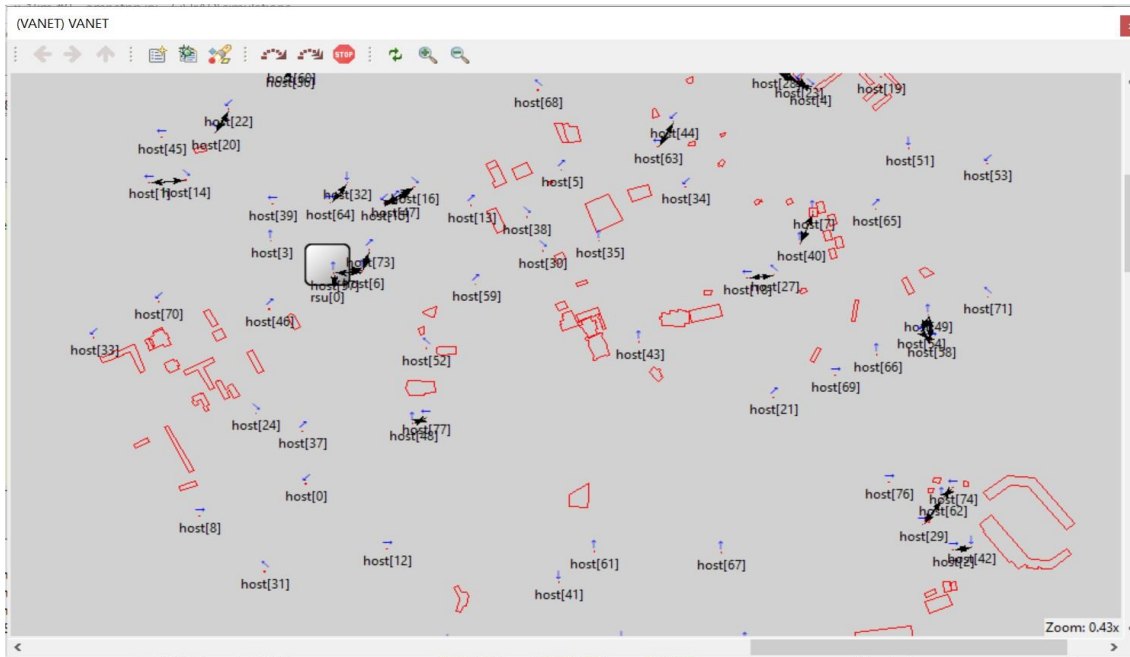


Figure III.13. Fenêtre de la simulation de OMNeT++

Une autre fenêtre de SUMO sera lancée automatiquement comme illustré sur la figure 14



**Figure III.14** Fenêtre de la simulation de la carte de Tlemcen sur SUMO

### III.5 Les métriques de performance

L'évaluation des performances d'un protocole de réseau ad hoc doit être réalisée en utilisant un modèle de mobilité qui se rapproche le plus possible du scénario réel envisagé, ce qui facilite le développement du protocole de réseau VANET. Dans notre étude, nous avons pris en compte les mesures suivantes :

- **Nombre de messages reçus** : Cela fait référence au nombre de messages d'avertissement reçus pendant la transmission.

### III.6 Paramètres de simulation

Dans les simulations, nous utilisons pour le plan Manhattan une topologie de réseau de  $1 \text{ km} \times 1 \text{ km}$  avec 8 rues horizontales et verticales équidistantes, chaque rue a deux voies, ainsi le trafic peut circuler dans les deux sens.

Dans tous les scénarios considérés (scénarios de Manhattan et de la ville de Tlemcen), la source du message (c'est-à-dire le lieu de l'accident) est située à l'intersection approximativement au centre du réseau. La source du message diffuse un message une seule fois à l'instant  $t = 15$  secondes. La balise, contenant diverses informations concernant le véhicule lui-même ainsi que son voisinage, est envoyé toutes les 1 seconde et sa durée de vie est de 90 secondes. La taille du message de données

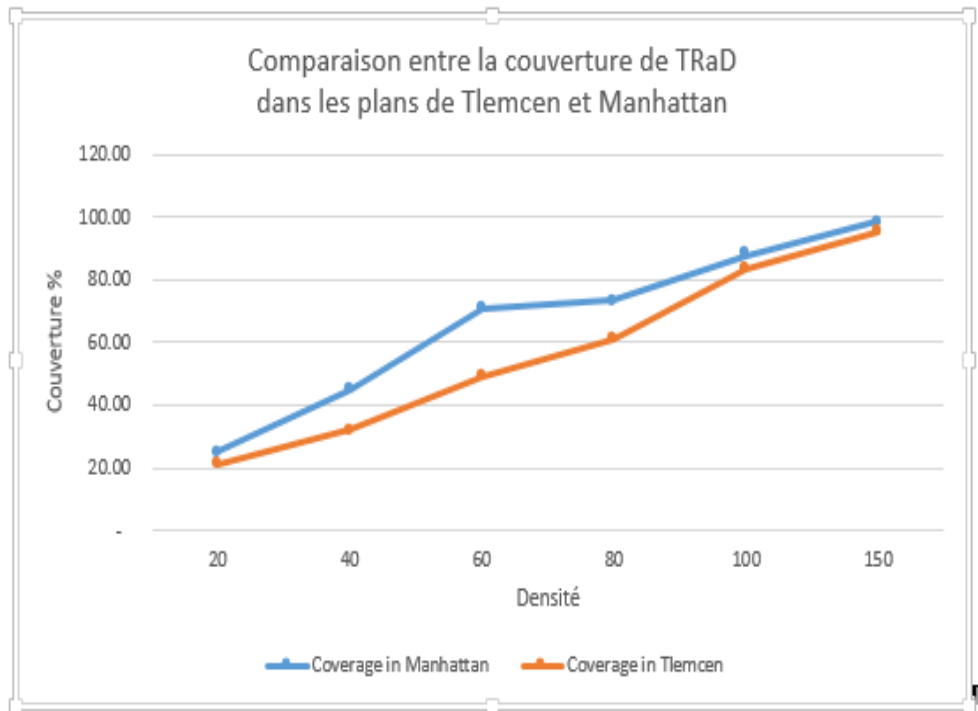
est de 2312 octets. La densité du véhicule est de 20 v/km<sup>2</sup> à 150 v/km<sup>2</sup>. Au total, dix simulations par densité de véhicule sont effectuées et des intervalles de confiance de 95% sont calculés pour tous les résultats. La métrique utilisée est « Taux de réception de paquets » qui représente le nombre moyen de messages de données reçus par les véhicules en pourcentage du nombre total de messages de données envoyés par le nœud source. On peut également l'appeler la couverture de la diffusion des données. Les principaux paramètres des simulations (VEINS) sont résumés dans le Tableau 4

<b>Simulateurs de réseau</b>	OMNeT++ 4.6
<b>Simulateur de trafic routier</b>	SUMO 0.25.0
<b>Le standard</b>	IEEE 802.11p
<b>La Couche</b>	MAC et PHY
<b>Le débit</b>	6 Mbit/s
<b>La puissance de transmission</b>	3 mW
<b>Le modèle de propagation</b>	Two Ray Interference Model Simple Obstacle Shadowing
<b>La portée radio</b>	300m
<b>Topologie de réseau</b>	1 km × 1 km
<b>Taille du message de données</b>	2312 octets
<b>Densité du véhicule</b>	20 v/km <sup>2</sup> à 150 v/km <sup>2</sup>
<b>St</b>	8ms
<b><math>\alpha</math></b>	10°
<b>Max. #Neighbor</b>	20
<b>Max. RadioRange</b>	366m

**Tableau III.4.** . Paramètres de la simulation (VEINS) [16]



## III.7 Résultats de la simulation et discussion



**Figure III.15.** Comparaison entre la couverture de TRaD dans les plans de Tlemcen et Manhattan

Suite à l'implémentation du protocole TRAD avec le simulateur Veins, les résultats de la simulation mettent en évidence la concordance de la performance obtenue du protocole TrAD dans le plan Manhattan et celui de Tlemcen en termes de densité de couverture avec ceux publiés dans l'article originale.

On remarque que les deux simulations donnent des résultats similaires en termes de couverture, dans le graphe on observe qu'au-delà d'une densité de 100 Véhicules/km<sup>2</sup> on obtient un pourcentage de couverture satisfaisant.

Ceci va dans le sens d'une validation renforcé des performances du protocole TRAD aussi bien dans un plan standard comme celui de Manhattan que dans un plan d'une ville réelle ayant un degré de spécificité élevée. Ce résultat serait encore plus appuyé et utile par la simulation du protocole sur davantage de plan de ville réelle représentatif de la spécificité de notre pays ce qui peut être considéré comme une perspective pour un future travail.

### III.8 Conclusion

Les résultats mettent en évidence des différences de densité de véhicules entre Manhattan et Tlemcen. Ces différences peuvent être attribuées à des facteurs tels que la densité de population, la taille de la ville et les caractéristiques géographiques. Une compréhension approfondie de ces variations de densité peut contribuer à l'optimisation des protocoles de communication dans les réseaux VANET, en tenant compte des particularités de chaque environnement urbain.

## Conclusion générale

Les progrès technologiques récents ont donné lieu à une évolution spectaculaire des réseaux véhiculaires. L'objectif de cette évolution est d'accroître la sécurité, l'efficacité, la fiabilité et l'aspect écologique des réseaux, tant du côté de l'industrie automobile que des opérateurs de réseaux et services. Les réseaux véhiculaires font partie d'une nouvelle génération de réseaux mobiles appelés vehicular Ad Hoc, qui permettent aux véhicules d'échanger des données entre eux ou avec les infrastructures environnantes. Ils suscitent un intérêt croissant en raison de leur potentiel pour améliorer la sécurité et l'efficacité des transports routiers, ainsi que pour offrir aux utilisateurs une multitude de services d'information, d'aide à la décision, de guidage et d'accès à Internet, améliorant ainsi leur confort au quotidien.

Pour garantir une dissémination efficace dans les réseaux VANET, il est essentiel de considérer la taille du réseau, la vitesse des véhicules et les différents besoins des services offerts. Une approche adaptée aux caractéristiques spécifiques des VANET permettra d'optimiser la diffusion des informations et de maximiser les performances du réseau.

Notre projet d'étude est concentré sur la simulation, évaluation et comparaison de protocole de dissémination adaptative des données VANET (TrAD) en utilisant le simulateur Veins, dans deux villes différentes (Manhattan et la ville de Tlemcen). L'évaluation des performances sera basée sur le critère : le nombre de messages d'avertissement reçus par les nœuds du réseau.

Ce mémoire nous a permis de faire l'expérience et de comprendre les différentes étapes nécessaires à la progression d'un projet de recherche. Nous avons acquis une expérience précieuse et une compréhension approfondie des méthodes de travail d'un chercheur dans ce domaine. Tout au long de ce travail, nous avons développé des techniques et des idées novatrices qui nous permettront, à l'avenir proche, d'approfondir ce sujet de recherche et d'aborder des problématiques plus avancées dans le domaine des réseaux VANET et éventuellement d'autres protocoles et des réseaux plus au moins similaires, en proposant des solutions adéquates. Cette expérience nous servira de base solide pour poursuivre notre exploration et contribuer au développement des réseaux de VANET et de domaines connexes.

## Bibliographie

- [1] H. H. a. K. Laberteaux, VANET: Vehicular Applications and inter-networking technologies, volume 1, Wiley Online Library, 2010.
- [2] Y.Khaled, H.Menouar, Y.Challal, Reactive and Adaptive Protocol for Inter Vehicle, UMR-CNRS France, Avril 2004.
- [3] E. M. a. V. M. Burmester, «IEEE International Conference on (WIMOB),» Avignon, 2008.
- [4] S. J. Y. K. a. M. Y. J. Choi, "A Fast and Efficient Handover Authentication Achieving Conditional Privacy in V2I Networks, Petersburg, Russia, 2009.
- [5] D. Q.Xu, "Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 GHz dedicated short range communication spectrum", vol. The 57th IEEE Semiannual, VTC 2003-Spring, Apr. 2003.
- [6] R. D. M. N. a. A.-L. B. Farouk Mezghani, Content dissemination in Vehicular Social Networks : Taxonomy and User satisfaction, 2014.
- [7] M. JERBI, « Protocoles pour les Communications dans les Réseaux de Véhicules en environnement Urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections », 2008.
- [8] S. S. D. M. e. M. J. R. Meraihi, *Chapitre Livre: Communications véhicule à véhicule: applications et perspectives*, Titre de Livre : "Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteurs sans fil", Editeur : Hermes Science Publications, Février 2006.
- [9] M. Jerbi, " Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections", Novembre 2008.
- [10] K. A. ali, "Modélisation et étude de performances dans les réseaux vanets", 2012.
- [11] M. Jerbi, "Protocoles pour les communications dans les reseaux de vehicules en environnement urbain : Routage et GeoCast bases sur les intersections", 2008.
- [12] S. R. a. A. A. F. Aadil, "Vehicular Ad Hoc Networks ( VANETs ), Past Present and Future : A survey Vehicular Ad Hoc Networks ( VANETs ), Past Present and Future : A survey," no, January, 2013.

- [13] J. B.-o. a. M. H. M. Nidhal, "Survey on VANET security challenges and possible cryptographic solutions," *Vehicular Communications*, 2014.
- [14] M. M. A.-D. A. H. A.-B. a. H. Z. S. Al-Sultan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," *Journal of Network and Computer Applications*, vol, 2014.
- [15] I. [Online], «Available: [https://fort-monitor.ru/en/fort\\_devices/new-fort-112m-on-board-unit-for-commercial-transport-is-already-on-sale/](https://fort-monitor.ru/en/fort_devices/new-fort-112m-on-board-unit-for-commercial-transport-is-already-on-sale/),» [En ligne].
- [16] B. Tian, « *Data dissemination protocols and mobility model for VANETs* », 2016.
- [17] Singh G., Singh T., "Review on Technologies In wireless Networks" in *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, ISSN: 2348-7550, Volume-4, Issue-1, May 2016.
- [18] R. K. a. M. Dave, «A review of various vanet data dissemination protocols,» 2012.
- [19] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, and T. Weil, "Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 13, no. 4, pp. 584–616, Fourth 2011.
- [20] F. Bai and B. Krishnamachari, "Exploiting the wisdom of the crowd: localized, distributed information-centric VANETs [Topics in Automotive Networking]," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 5, pp. 138–146, May 2010.
- [21] O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan, and F. Bai, "DV-CAST: A distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 2, pp. 47–57, Apr. 2010.
- [22] L. A. Villas, A. Boukerche, G. Maia, R. W. Pazzi, and A. A. F.Loureiro, "DRIVE: An efficient and robust data dissemination protocol for highway and urban vehicular ad hoc networks," *Comput. Netw.*, vol. 75, Part A, no. 0, pp. 381–394, Dec. 2014.
- [23] R. S. Schwartz, H. Scholten, and P. Havinga, "A scalable data dissemination protocol for both highway and urban vehicular environments," *EURASIP J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2013, no. 1, p. 257, Nov. 2013.
- [24] C. Lochert, M. Mauve, H. Fera, and H. Hartenstein, "Geographic routing in city scenarios," *ACMSIGMOBILE Mobile Computing and Communications*, Vol. 9, 2005, pp. 69-72.

- [25] H. P. Joshi, M. Sichitiu, and M. Kihl, "Distributed robust geocast multicast routing for inter-vehicle communication," in Proceedings of WEIRD Workshop on WiMax, Wireless and Mobility, 2007, pp. 9-21.
- [26] Y. S. Chen, Y. W. Lin, and S. L. Lee, "A mobicast routing protocol for vehicular ad hoc networks," ACM/Springer Mobile Networks and Applications, Vol. 15, 2010, pp. 20-35.
- [27] O. Tonguz, N. Wisitpongphan, F. Bai, P. Mudalige, and V. Sadekar, "Broadcasting in VANET," in Proceedings of IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments, 2007, pp. 7-12.
- [28] Y. Yao, S. Olariu, M. Xu, and Y. Li, "A survey of vehicular ad hoc networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, no. 4, pp. 2217-2246, 2015.
- [29] S. Panichpapiboon, and W. Pattara-atikom, "A Review of Information Dissemination Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks", IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS, VOL. 14, NO. 3, THIRD QUARTER 2012.
- [30] Y.-C. Tseng, S.-Y. Ni, Y.-S. Chen, and J.-P. Sheu, "The Broadcast Storm Problem in a Mobile Ad Hoc Network," *Wirel Netw*, vol. 8, no. 2/3, pp. 153–167, Mar. 2002.
- [31] N. Wisitpongphan, O. K. Tonguz, J. S. Parikh, P. Mudalige, F. Bai, and V. Sadekar, "Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks," IEEE Wirel. Commun., vol. 14, no. 6, pp. 84–94, Dec. 2007.
- [32] Nadia Haddadou. Réseaux ad hoc véhiculaires : vers une dissémination de données efficace, coopérative et fiable. Informatique [cs]. Université Paris-Est, 2014. Français. <NNT : 2014PEST1023>. <tel-01124319>
- [33] M. Fogue, P. Garrido, F. J. Martinez, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "Evaluating the impact of a novel message dissemination scheme for vehicular networks using real maps," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 25, pp. 61–80, Dec. 2012.
- [34] W. Viriyasitavat, O. K. Tonguz, and F. Bai, "UV-CAST: an urban vehicular broadcast protocol," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 11, pp. 116–124, Nov. 2011.
- [35] M. Fogue, F. J. Martinez, P. Garrido, M. Fiore, C.-F. Chiasserini, C. Casetti, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "Securing Warning Message Dissemination in VANETs Using Cooperative Neighbor Position Verification," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 64, no. 6, pp. 2538–2550, Jun. 2015.
- [36] C. Lochert, M. Mauve, H. Füßler, and H. Hartenstein, "Geographic Routing in City Scenarios," *SIGMOBILE Mob Comput Commun Rev*, vol. 9, no. 1, pp. 69–72, Jan. 2005.

- [37] D. Herrera “Simulation of basic multi-hop broadcast techniques in Vehicular Ad-hoc Networks using VEINS simulator” Université Polytechnique de Catalunya. Barcelona, 2016
- [38] Bhatia, TK, Ramachandran, RK, Doss, R., & Pan, L. (2020, février). Une revue des simulateurs utilisés pour les VANET : l'étude de cas des générateurs de mobilité véhiculaire. En *2020 7ème conférence internationale sur le traitement du signal et les réseaux intégrés (SPIN)* (pp. 234-239). IEEE.
- [39] A.Varga, “Using the OMNET++ discrete event simulation system in education”, IEEE Transactions on Education, 42 (4), 1999
- [40] W.Celimuge and S.Ohzahata, “Vanet broadcast protocol based on fuzzy logic and lightweight retransmission mechanism”, IEICE transactions on communications, vol. 95, no. 2, pp. 415–425, 2012.
- [41] MJ.Thinus Booyesen, MJ.booyesen at sun dot ac dot za, “Simulating VANET and ITS (using OMNeT++ and SUMO)”, University STELLENBOSCH, In Seminar at UniRC – Jul