



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTÉ DES MATHÉMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER

Spécialité : Réseau et télécommunication

Par :

**NACEUR KARIMA
OUKIDI MIMOUNA**

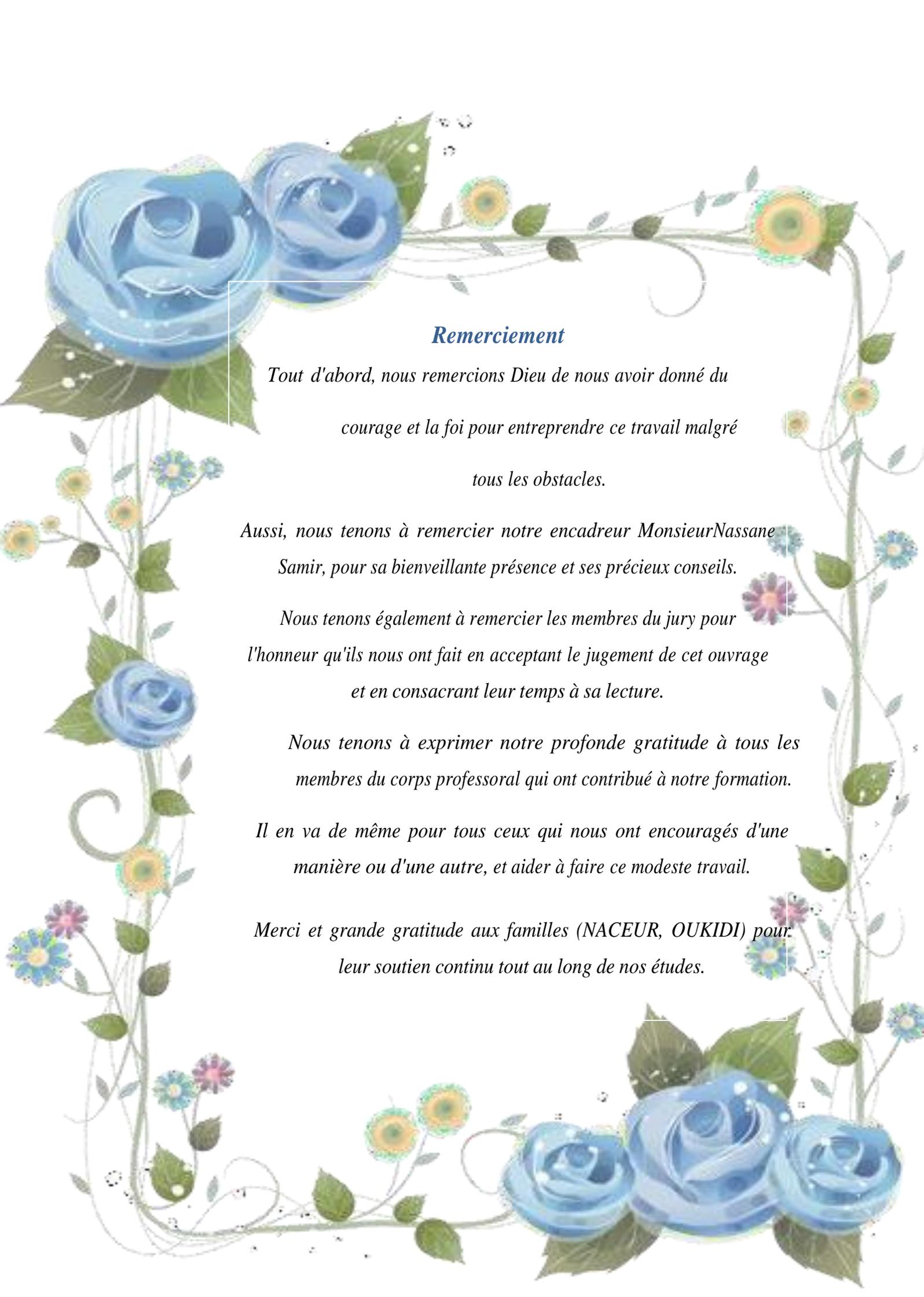
Sur le thème

Gestion du trafic routier urbain de la ville de Tiaret à l'aide de la technologie VANET

Soutenu publiquement le 27/06/2022 à Tiaret devant le jury composé de :

Mr ALEM ABDELKADER	MAA	Université	Iben Khaldoun	Président
Mr NASAAN SAMIR	MAA	Université	Iben Khaldoun	Encadrant
Mr MOSTEFAOUI KADDA	MAA	Université	Iben Khaldoun	Examineur

2021-2022



Remerciement

Tout d'abord, nous remercions Dieu de nous avoir donné du courage et la foi pour entreprendre ce travail malgré tous les obstacles.

Aussi, nous tenons à remercier notre encadreur Monsieur Nassane Samir, pour sa bienveillante présence et ses précieux conseils.

Nous tenons également à remercier les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant le jugement de cet ouvrage et en consacrant leur temps à sa lecture.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à tous les membres du corps professoral qui ont contribué à notre formation.

Il en va de même pour tous ceux qui nous ont encouragés d'une manière ou d'une autre, et aider à faire ce modeste travail.

Merci et grande gratitude aux familles (NACEUR, OUKIDI) pour leur soutien continu tout au long de nos études.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,
leur amour, et leur soutien tout au long de mes
études.

Mes frères et mes sœurs pour leur encouragement.

A toute ma grande famille

Et a tous mes chers amis

A ma très chères binôme : Mimouna

A tous ceux qui me sont chers

Karima



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes chers parents, pour tous leurs sacrifices,
leur amour, et leur soutien tout au long de mes
études.

Mes frères Sofiane et Boualem, mes sœurs
Fatima et Nadjia pour leur encouragement.

A toute ma grande famille

Et a tous ma chère amie.

A mon très cher binôme : Karima

A tous ceux qui me sont chers

Mimouna

Sommaire

Remerciement	3
Dédicace	3
Résumé	3
Introduction générale	3

chapitre I: Introduction aux réseaux Ad Hoc

I.1 Introduction	3
I.2 Réseaux sans fil (RSF)	3
I.3 Classification des réseaux sans fil	3
I.3.1 Les réseaux avec infrastructure	3
I.3.2 Les réseaux sans infrastructure	4
I.4 Définition d'un réseau ad hoc	4
I.5 Les caractéristiques des réseaux Ad hoc	5
I.5.1 Topologie très dynamique	5
I.5.2 Absence d'infrastructure	5
I.5.3 Bande passante limitée	6
I.5.4 Sécurité limitée	6
I.5.5 Qualité de Service (QoS)	6
I.5.6 Erreur de transmission	6
I.5.7 Interférences	6
I.6 Domaine d'applications des réseaux Ad Hoc	6
I.6.1 Plans d'urgence	6
I.6.2 Applications commerciales	6
I.6.3 Travail collaboratif	7
I.6.4 La surveillance des patients dans les hôpitaux	7
I.6.5 Réseaux domestiques	7
I.6.6 Eclairages publics	7
I.6.7 Réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANET)	7
I.6.8 Réseaux de capteurs	7
I.7 Modes de communication dans les réseaux ad hoc	8
I.8 Types de réseaux sans fil ad hoc	9
I.8.1 Réseaux de capteurs sans fil	9
I.8.2 Réseaux ad hoc véhiculaires	10
I.9 Les avantages et les inconvénients des réseaux ad hoc	10

I.10 Conclusion.....	11
----------------------	----

Chapitre II: Réseaux VANET

II.1 Introduction.....	12
II.1.1 problème de routage dans VANET	12
II.2 Définition de réseaux véhicule ad-hoc	12
II.2.1 Le Nœud du réseau VANET	13
II.2.2 Architecture et caractéristiques des réseaux véhiculaires.....	14
II.2.3 Modes de communication dans les réseaux VANETs	14
II.2.4 Les caractéristiques des VANETs	17
II.2.5 Domaines d'application des VANET	18
II.2.6 Type de messages	19
II.2.7 Modes de transmission dans les réseaux VANET	20
II.3 Avantages des réseaux VANETs	21
II.3.1 Topologie dynamique	21
II.3.2 Echange entre nœuds hétérogènes	21
II.3.3 Propagation par trajet multiple	21
II.4 Inconvénients des réseaux VANETs	21
II.4.1 Canal radio partagé et limité	21
II.4.2 Faible bande passante	21
II.4.3 Les interférences	21
II.5 Routage dans les réseaux véhiculaires VANET	22
II.5.1 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs	22
II.5.2 Protocoles basés sur la topologie	23
II.5.3 Routage géographique	30
II.5.4 Protocoles de routage basés sur le broadcast	35
II.5.5 Protocoles de routage basés sur les clusters	36
II.5.6 Protocoles de routage géocast	37
II.6 Conclusion	38

Chapitre III: Partie simulation

III.1 Introduction	40
III.2 Outils d'implémentation et de simulation	40
III.2.1 Environnement matériel	40
III.2.2 environnement logiciel	40
III.3 Bibliothèques exploitées	44
III.3.1 INET Framework.....	44

III.3.2 VEINS Framework	44
III.4 Paramètres de simulation	45
III.5 Résultats de simulation	46
III.6 Conclusion.....	49
Conclusion générale et Perspectives	50
Annexe	51
Bibliographie.....	59

Liste des figures

Figure I.1 : Mode infrastructure avec BSS	4
Figure I.2: Réseau en mode ad-hoc.....	4
Figure I.3: Réseau ad hoc.....	5
Figure I.4: Le changement de la topologie d'un réseau Ad Hoc	5
Figure I.5: Domaine d'applications des réseaux Ad Hoc	8
Figure I.6: la communication unicast.....	8
Figure I.7: La communication multipoints ou multicast.....	9
Figure I.8 : La diffusion broadcast.....	9
Figure I.9: Hiérarchie des réseaux sans fil.....	10
Figure II. 1 : exemple d'un réseau VANET	13
Figure II. 2: Véhicule intelligent.....	13
Figure II. 3: Communication basée sur les RSU.....	14
Figure II.4:mode de communication v2v.....	15
Figure II. 5: mode de communication de véhicule à infrastructure	16
Figure II. 6: Mode de communication v2x	16
Figure II.7:Les différents types de mode de transmission dans les VANETs	20
Figure II. 8: classification des protocoles de routage dans les VANETs.....	23
Figure II. 9: Sélection des MPRs dans OLSR.....	24
Figure II.10: exemple de DSDV	25
Figure II.11: Fonctionnement d'AODV.....	27
Figure II.12: format de message AODV	28
Figure II.13: Exemple de fonctionnement de DSR.....	29
Figure II. 14: Exemple d'exécution de ZRP	30
Figure II.15: Exemple de Greedy Forwarding	31
Figure II.16: exemple de Perimeter Forwarding	32
Figure II.17: La sélection des intersections dans GyTAR	34
Figure II.18: Mécanisme de routage utilisant le protocole VADD.....	35
Figure II.19: routage clusters dans VANET	36
Figure III.1 : interface de simulateur OMNET++.....	41
FigureIII.2: Interface SUMO	42
Figure III.3: la ville de Tiaret dans Openstreetmap	42
FigureIII.4 : interface GatcomSUMO.....	43
Figure III.5: Architecture de Veins Framework.....	44
Figure III.6 : zone urbaine de simulation.....	45
Figure III.7: Diffusion d'un message d'alerte par le nœud.....	46
Figure III.8 : les véhicules voisins deviennent rouges	47
Figure III.9 : les véhicules voisins changent leur itinéraire	47
Figure III.10: les véhicules voisins reviennent à leur chemin initial... ..	48

Liste des abréviations

MANET	Mobile Ad hoc Network.
VANET	Vehicular Ad hoc Network.
RSU	Road Side Unit.
OBU	On-Board Unit.
V2V	Vehicle to Vehicle.
V2I	Vehicle to Infrastructure.
I2I	Infrastructure to Infrastructure.
DSRC	Dedicated Short-Range Communications.
AODV	Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing.
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol.
ZRP	Zone Routing Protocol.
RREQ	Route REQuest.
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector.
AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector.
DSR	Dynamic Source Routing.
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing.
A-STAR	Anchor-based Street and Traffic Aware Routing.
UMB	Urban Multi hop Broadcast Protocol.
GyTAR	Greedy Traffic Aware Routing.
VADD	Vehicle-Assisted Data Delivery.
HCB	Hierarchical Cluster Based Routing.
ROVER	Robust Vehicular Routing.
SUMO	Simulation of Urban Mobility.
OSM	OpenStreetMap.
VEINS	Vehicles in Network Simulation.

Liste des tableaux

Tableau III.1	matériel utilisé	40
Tableau III.2	paramètres de simulation	45

Résumé

L'augmentation du nombre de voitures a entraîné la congestion routière, qui est devenue un problème pour la plupart des villes, en particulier les grandes villes. Pour cette raison, nous avons mené une étude liée au problème de la congestion routière en utilisant VANET.

VANET est une nouvelle technologie émergente qui intègre les réseaux de la nouvelle génération sans fil pour véhicules.

L'objectif principal de ce type de réseau est de faire circuler l'information de la manière la plus efficace entre les véhicules, entre les infrastructures et les véhicules afin d'améliorer davantage la circulation routière et d'apporter le confort aux conducteurs.

Les réseaux véhiculaires reposent sur des protocoles qui garantissent efficacement la communication entre les véhicules qui sont caractérisés par une mobilité. L'amélioration de la communication revient à la détermination de ces protocoles.

Notre objectif dans cette thèse est d'utiliser le protocole de routage Broadcast pour diriger les voitures et changer leur chemin en cas d'accident. Nous avons simulé ce protocole sous le simulateur réseaux Omnet++ en milieu urbain.

Les mots clé : VANET, Information, véhicules, protocoles, Broadcast, Accident, OMNET++.

Abstract:

The increase in the number of cars has led to congestion, which has become a problem for most cities, especially large ones. For this reason, we conducted a study related to the problem of congestion Road safety use VANET.

VANET is an emerging new technology that integrates the next generation wireless networks for Vehicles.

The main objective of this type of network is to circulate information in the most efficient way between vehicles, between infrastructure and vehicles in order to improve the road and bring comfort to drivers and vehicles.

Vehicle networks are based on protocols that guarantee information between vehicles that are characterized by mobility. Improving communication involves identifying these protocols

Our goal in this thesis was to use the Broadcast routing protocol to steer cars and change route in case of accident. We simulated this protocol under the omnet++ urban network simulator.

Keywords: VANET, Information, Vehicles, Protocols, Brodcast, Accident, OMNET++.

ملخص

أدت الزيادة في عدد السيارات إلى الازدحام الذي أصبح مشكلة لمعظم المدن، وخاصة المدن الكبيرة. لهذا السبب، أجرينا دراسة تتعلق بمشكلة الازدحام باستخدام السلامة على الطرق. VANET هي تقنية جديدة ناشئة من الشبكات اللاسلكية للمركبات و الهدف الرئيسي لهذا النوع من الشبكات هو تعميم المعلومات بأكثر الطرق فعالية بين المركبات، وبين الهياكل الأساسية والمركبات من أجل تحسين الطريق وتوفير الراحة للسائقين والمركبات تستند شبكات المركبات إلى بروتوكولات تضمن المعلومات بين المركبات التي تتميز بالتنقل. يتضمن تحسين الاتصال تحدد هذه البروتوكولات كان هدفنا في هذه الأطروحة هو استخدام بروتوكول توجيه البث لتوجيه السيارات وتغيير المسار في حالة وقوع حادث. قمنا بمحاكاة هذا البروتوكول تحت محاكاة الشبكة الحضرية ++ Omnet

الكلمات الأساسية:

VANET، المعلومات، المركبات، البروتوكولات، Broadcast، Accident، OMNET ++.

Introduction générale

Les réseaux VANET existent depuis les années 80, mais sont de plus en plus développés ces dernières années dans le monde, en raison de la grande variété des services qu'ils fournissent aux conducteurs routiers, tels que la sécurité et la gestion du trafic urbain.

En effet, les réseaux véhiculaires permettent d'organiser la circulation, et de diminuer davantage les accidents en rendant les véhicules et les routes plus intelligents et plus interactifs par l'exploit des technologies sans fil.

Notre travail de fin d'étude, s'inscrit alors dans ce cadre de système de transport intelligent. Ainsi, nous avons simulé un réseau VANET sur un milieu urbain de la ville de Tiaret. Nous avons également provoqué un accident sur une route menant vers la destination, afin de découvrir visuellement la réaction des véhicules en termes de communication et d'adaptation.

Pour conclure, la technologie VANET fournit une meilleure solution aux autorités pour exploiter efficacement l'environnement routier et résoudre intelligemment le problème de circulation routière.

Chapitre I

Introduction aux réseaux Ad Hoc

I.1 Introduction

L'accès à l'information n'importe où et n'importe quand est devenu une nécessité. Ces dernières années ont vu une évolution considérable de technologies de télécommunication sans fil qui a permis la manipulation de l'information à travers des unités de calculs mobiles. Par conséquent le développement de techniques réseautiques sans fil devient nécessaire jour après jour, parmi les réseaux qui ont besoin d'exploiter cette avancée technologique, signalons les réseaux VANET qui constituent une nouvelle forme de réseaux mobiles sans fil. Ces dernières sont des réseaux spontanés et dynamiques dans lesquelles les nœuds sont autonomes et mobiles.

Dans ce chapitre, nous allons présenter d'abord les réseaux sans fil et leurs catégories, puis nous abordons les réseaux ad hoc, leurs caractéristiques, domaines d'applications et leurs modes de communication, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

I.2 Réseaux sans fil (RSF) :

Autre façon de faire communiquer un ensemble d'équipements, c'est l'utilisation des ondes (radio ou infrarouge) à la place des câbles de transmission. Les réseaux sans fil constituent avant tout une alternative aux réseaux câblés, surtout que ces derniers sont devenus très coûteux et difficile voire impossible, de les mettre en place dans certaines situations. La compatibilité de la technologie sans fil avec la technologie des réseaux filaires permet également de considérer les réseaux sans fil comme une extension des réseaux filaires [1].

I.3 Classification des réseaux sans fil :

Les réseaux sans fil peuvent être classés en deux grandes catégories Les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure :

I.3.1 Les réseaux avec infrastructure (cellulaires) :

En mode avec infrastructure, également appelé le mode BSS (Basic Service Set) certains sites fixes, appelés stations support mobile (Mobile Support Station) ou station de base (SB), sont munis d'une interface de communication sans fil pour la communication directe avec des sites ou des unités mobiles (UM), localisés dans une zone géographique limitée, appelée cellule [2].

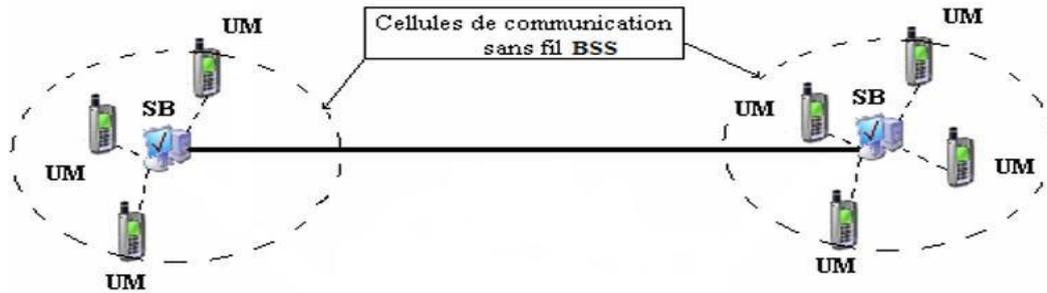


Figure I.1 : Mode infrastructure avec BSS [2]

I.3.2 Les réseaux sans infrastructure (AD HOC) :

Le réseau mobile sans infrastructure également appelé réseau Ad hoc ou IBSS (Independent Basic Service Set) ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et se communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil [2].

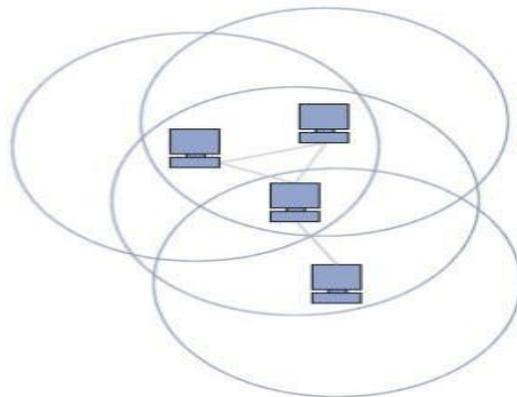


Figure I.2: Réseau en mode ad-hoc [2]

I.4 Définition d'un réseau ad hoc :

Un réseau ad hoc est un réseau sans fil qui ne nécessite aucune infrastructure préalablement déployée pour permettre la communication entre ses membres. Cela implique l'absence d'une station de base tout en gardant toujours son rôle parmi les unités mobiles qui vont se comporter comme des routeurs qui participent à la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau [1].

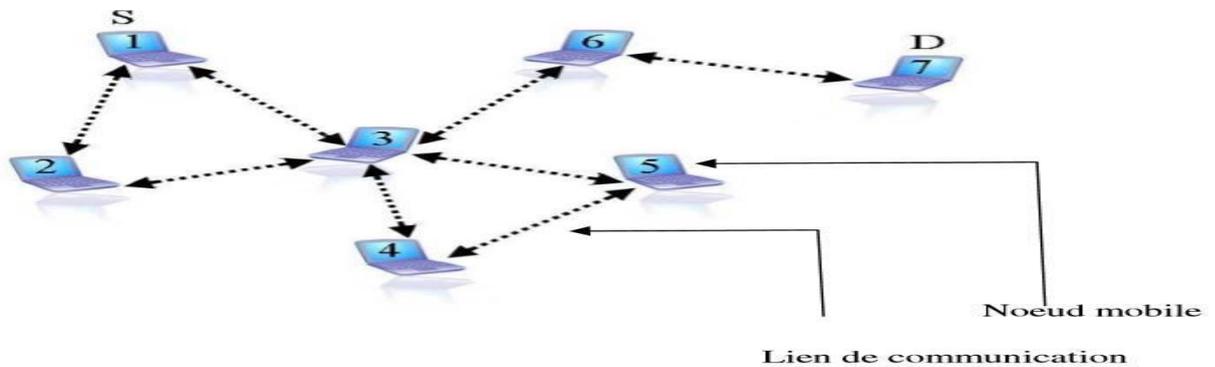


Figure I.3: Réseau ad hoc [6]

La topologie du réseau peut changer à tout moment, elle est donc dynamique ce qui fait que la déconnexion des unités soit très fréquente.

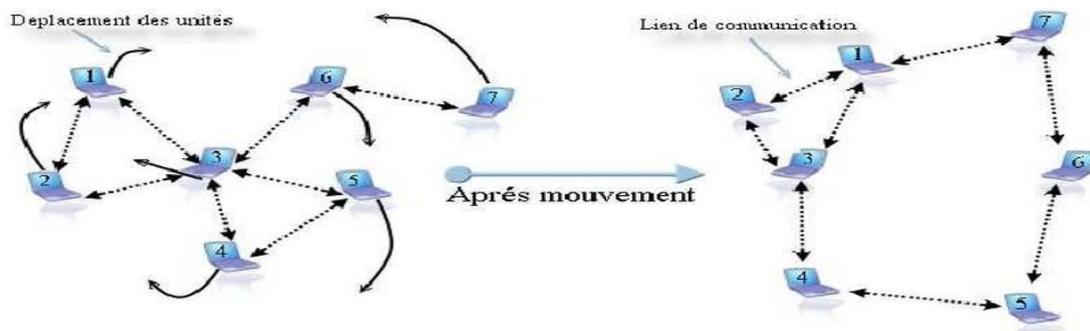


Figure I.4: Le changement de la topologie d'un réseau Ad Hoc [6]

I.5 Les caractéristiques des réseaux Ad hoc :

Un réseau ad-hoc est donc constitué d'entités, mobiles, qui communiquent entre elles. Chaque entité communique directement avec sa voisine. Pour communiquer avec d'autres entités, il lui est nécessaire de faire passer ses données par d'autres qui se chargeront de les acheminer [3].

I.5.1 Topologie très dynamique :

Le déplacement des nœuds provoque des modifications aléatoires et non prédictibles de l'architecture du réseau [4].

I.5.2 Absence d'infrastructure :

Il n'existe pas de : Serveur, Routeurs, Switchs, Hub, ... [4].

I.5.3 Bande passante limitée :

Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagée. Ce partage fait que la bande passante réservée à un hôte soit limitée [4].

I.5.4 Sécurité limitée :

Comme tous les réseaux sans fil, les réseaux ad hoc souffrent de la faible sécurité vis-à-vis des risques des interférences et de piratage, contrairement aux réseaux filaires qui disposent d'une sécurité plus forte [4].

I.5.5 Qualité de Service (QoS) :

De nombreuses applications ont besoin de certaines garanties relatives aux différents paramètres comme le débit, le délai, etc. Dans ces réseaux ad hoc ces garanties sont très difficiles à assurer à cause du canal radio d'une part (interférences et taux d'erreur élevés, perte des routes) et des fonctions employées pour la gestion du réseau d'une autre part [4].

I.5.6 Erreur de transmission :

Les erreurs de transmission radio sont plus fréquentes que dans les réseaux filaires [5].

I.5.7 Interférences :

Les liens radios ne sont pas isolés, deux transmissions simultanées utilisant des fréquences proches peuvent interférer entre eux [5].

I.6 Domaine d'applications des réseaux Ad Hoc [7] :

Les communications et les opérations dans le domaine militaire demeurent les premières applications des réseaux Ad hoc. Cependant, avec l'avancement des recherches dans le domaine des technologies sans fil, d'autres applications civiles sont apparues. On distingue :

I.6.1 Plans d'urgence :

Les réseaux Ad hoc sont établis dans le but de faciliter la communication dans les zones touchées par les catastrophes naturelles (tremblement de terre, cyclone, séisme, etc.). La tolérance aux pannes des réseaux Ad hoc est un paramètre très important, grâce à la facilité de dépannage des unités mobile par rapport aux réseaux avec infrastructure.

I.6.2 Applications commerciales :

Pour le paiement électronique ou pour l'accès mobile à l'internet, ou service de guide en fonction de la position de l'utilisateur.

I.6.3 Travail collaboratif :

Le déploiement d'un réseau Ad hoc lors d'une réunion, conférence ou d'une séance de cours est très judicieux car cela permet aux employeurs d'entreprise, chercheurs ou étudiants de partager les ressources (fichiers, accès à internet, etc.) et de communiquer sans avoir besoin d'une quelconque infrastructure.

I.6.4 La surveillance des patients dans les hôpitaux :

Les réseaux ad hoc permettent aux différents équipements de l'hôpital (capteurs, caméras, PC) d'être déployés et interconnectés sans fil pour le suivi d'états physiologiques des patients, l'administration des médicaments et la gestion éventuellement des alertes en cas d'urgence.

I.6.5 Réseaux domestiques :

Les réseaux ad hoc sont utilisés pour interconnecter et contrôler à distance les objets domestiques tels que les Smartphones, capteurs, laptops, imprimantes, etc. Ils peuvent être aussi utilisés pour contribuer au confort domestique en adaptant les équipements d'une façon intelligente aux préférences des utilisateurs.

I.6.6 Eclairages publics :

Afin d'économiser la consommation d'énergie des éclairages publics, les réseaux ad hoc sont utilisés pour contrôler les lampes. On peut donc allumer, éteindre ou tamiser les lampes individuellement, ainsi que déterminer laquelle des lampes est défectueuse et nécessite une maintenance.

I.6.7 Réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANET) :

Est une forme de réseau mobile Ad Hoc, développé pour faire établir des communications au sein d'un groupe de véhicules caractérisés par leur forte mobilité. Les communications peuvent se faire de véhicule à véhicule (V2V) ou de véhicule à équipement (V2I). Les équipements fixes à portée, sont appelés usuellement les équipements de la route.

I.6.8 Réseaux de capteurs :

Généralement exploités pour des applications environnementales (météo, activité terrestre, suivi animale, etc.). Leur usage permet l'analyse et la gestion de phénomènes complexes sur une longue période de temps et sur une large zone géographique tel que : la température, l'humidité, la pression, le bruit, etc [5].

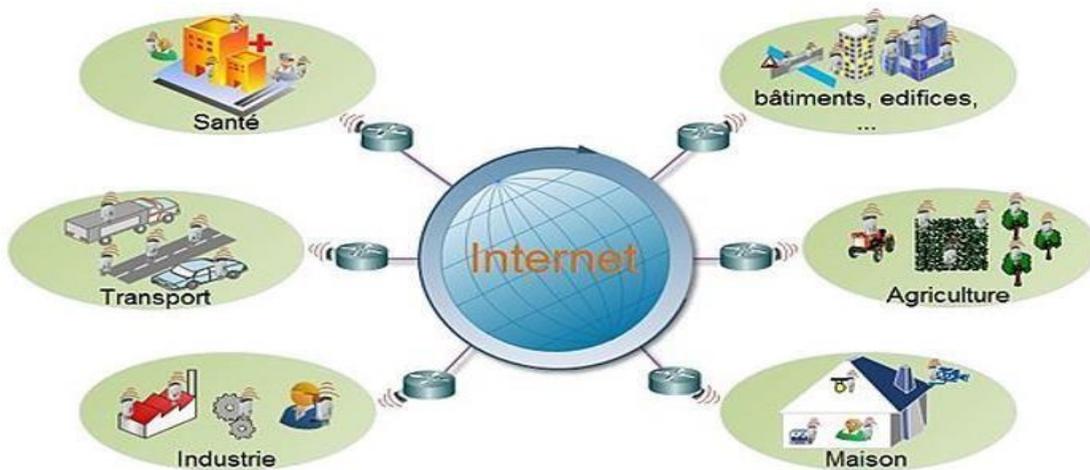


Figure I.5: Domaine d'applications des réseaux Ad Hoc

I.7 Modes de communication dans les réseaux ad hoc [7]:

- La communication point à point (unicast) : pour laquelle il y a une source et une seule destination.

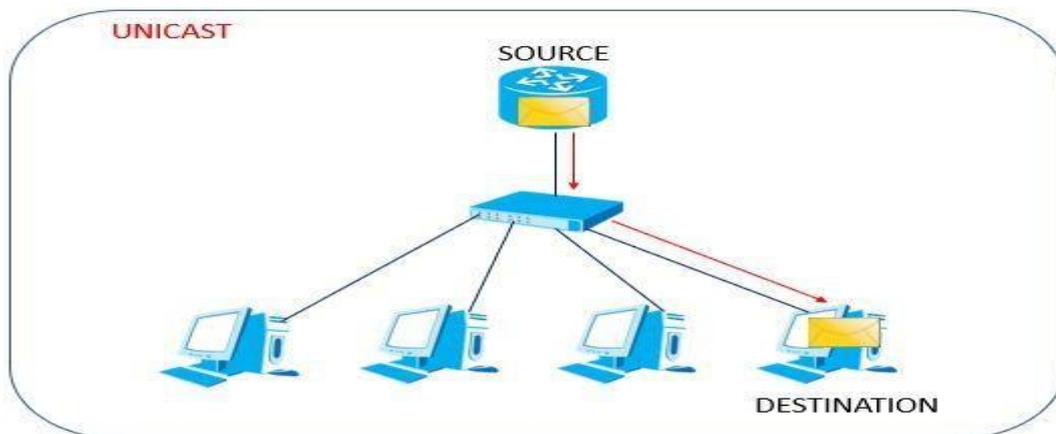


Figure I.6: la communication unicast

- La communication multipoints (multicast) : qui permet d'envoyer un message à plusieurs destinataires.

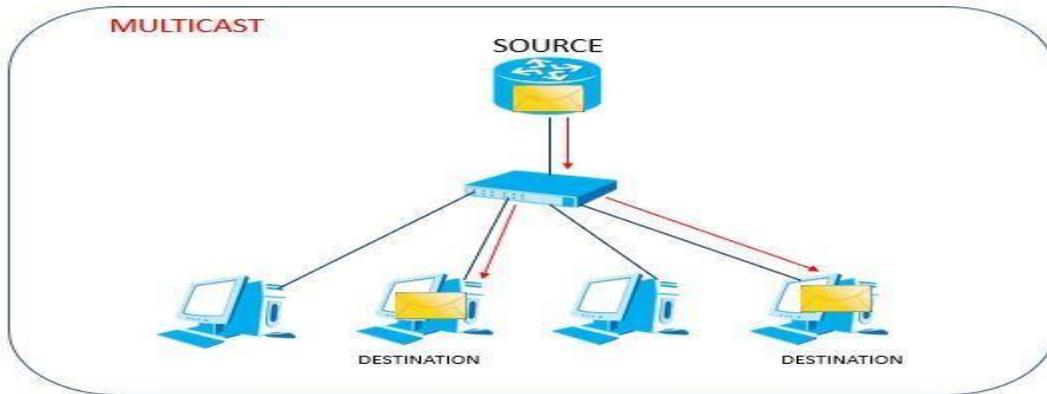


Figure I.7: La communication multipoints ou multicast

- La diffusion générale (broadcast) : qui envoie un message à tous les nœuds du réseau.

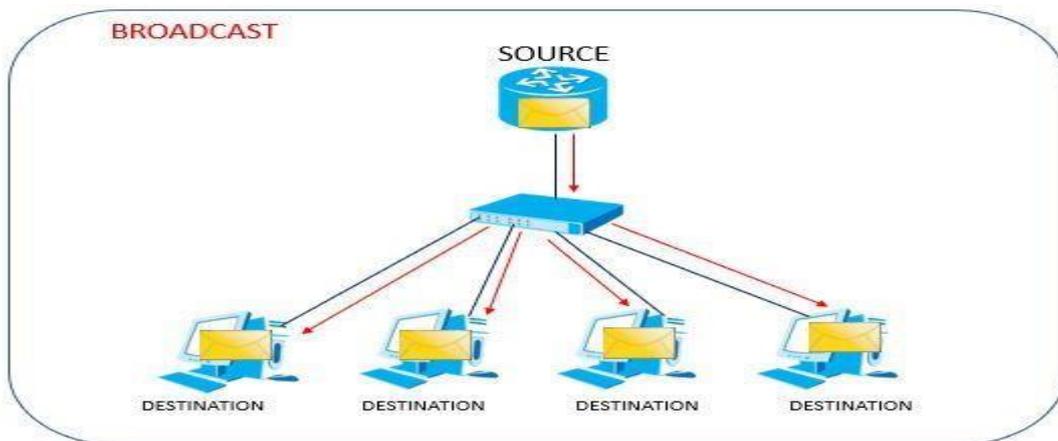


Figure I.8 : La diffusion broadcast

I.8 Types de réseaux sans fil ad hoc :

I.8.1 Réseaux de capteurs sans fil :

Un Réseau de Capteurs Sans Fil (RCSF) ou (Wireless Sensor Network (WSN)) est un réseau informatique composé de petits dispositifs autonomes, liés ou dispersés aléatoirement dans une zone d'intérêt, utilisant des capteurs et coopérant pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement , etc [1].

I.8.2 Réseaux ad hoc véhiculaires :

Une autre variante des réseaux ad hoc mobiles est les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs) dans lesquels les nœuds sont des véhicules. Contrairement au mouvement aléatoire dans Les réseaux MANETs, les véhicules dans les réseaux VANETs suivent des modèles de mobilité presque préconnus, car les véhicules suivent les routes et respectent des règles de circulation. Mais, la grande vitesse des véhicules rend la mobilité très forte ce qui rend le domaine de recherche dans les réseaux VANETs très attractif [1].

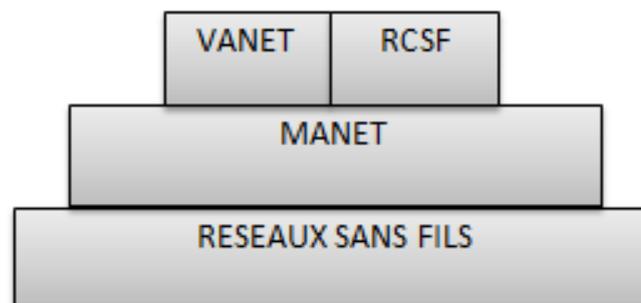


Figure I.9: Hiérarchie des réseaux sans fil

I.9 Les avantages et les inconvénients de réseau ad hoc [8] :

I.9.1 Les avantages :

- ✓ Les réseaux ad hoc peuvent être déployés dans un environnement quelconque.
- ✓ Le coût d'exploitation du réseau est faible : aucune infrastructure n'est à mettre en place initialement et surtout aucun entretien à prévoir.
- ✓ Le déploiement d'un réseau ad hoc est simple : ne nécessite aucun prérequis puisqu'il suffit de disposer d'un certain nombre de terminaux dans un espace pour créer un réseau ad hoc, et rapide puisqu'il est immédiatement fonctionnel dès que les terminaux sont présents.
- ✓ La souplesse d'utilisation : est un paramètre très important puisque les seuls éléments pouvant tomber en panne sont les terminaux eux-mêmes. Autrement dit, il n'y a pas de panne " pénalisante " de manière globale (une station qui sert au routage peut être remplacée par une autre si elle tombe en panne).

I.9.2 Les inconvénients :

Même si les perspectives pour les réseaux ad hoc sont prometteuses, plusieurs contraintes restent encore à traiter :

- ✓ La connectivité limite les possibilités de communication. Ainsi, deux stations ne sont joignables que s'il existe un ensemble de stations pouvant assumer la fonction de routeur afin d'acheminer les paquets de données échangées entre les deux stations.
- ✓ Les liens entre les stations ne sont pas isolés les uns des autres et polluent le voisinage, par diffusion, lors de chaque émission/réception de données. Par conséquent, tout paquet de diffusion émis vers une station en cours de communication va altérer la communication de cette station. La diffusion est un facteur qui alourdit aussi d'autres paramètres tels que la bande passante et la consommation de batterie.
- ✓ La sécurité dans les réseaux ad hoc est difficile à contrôler, car dans l'interface air l'écoute clandestine est très simple à réaliser.
- ✓ Enfin, la faible autonomie des batteries constitue un frein à une longue utilisation du terminal et à la mise en place de nouveaux services.

I.10 Conclusion

Ce premier chapitre a été consacré aux réseaux ad hoc sans infrastructure. Ainsi, nous avons évoqué leurs caractéristiques, types et domaines d'applications ainsi que leurs modes de communication.

Bien que les réseaux ad hoc présentent plusieurs avantages, Ils restent encore en cours de recherche et requièrent plusieurs améliorations.

Chapitre II

Réseaux VANET

II.1 Introduction

Le nombre croissant de véhicules aujourd'hui a conduit à un déséquilibre au trafic routier, et à l'émergence d'un nouveau type de terrorisme appelé terrorisme routier.

Chaque année, environ 1,25 million de personnes meurent des suites d'accidents de la circulation. De 20 à 50 millions de personnes supplémentaires souffrent de blessures non mortelles et beaucoup deviennent invalides en conséquence. Les blessures causées par les accidents de la circulation causent de grandes pertes économiques aux individus, à leurs familles et à des nations entières, c'est selon le rapport de l'Organisation mondiale de la santé pour l'année 2021.

Comme les systèmes de transport actuels fournissent très peu d'informations sur les conditions routières, en particulier dans les pays sous-développés, de nombreux gouvernements, constructeurs automobiles et consortiums d'industriels ont fixé la réduction des accidents de la route comme une priorité majeure. Afin d'aboutir à ce but, la première idée consistait à rendre les véhicules et les routes plus intelligents par le biais des communications sans fil.

Parmi les technologies récentes de communication sans fil, signalons les réseaux véhiculaires VANETs dans lesquels les véhicules agissent en tant que des nœuds mobiles. De plus, dans un VANET, chaque véhicule est équipé de capacités de transmission qui lui permettent de communiquer avec d'autres véhicules dans son voisinage.

Parmi les objectifs de VANET, on peut citer la prévention des accidents, la réduction des dégâts en cas de collision, la gestion des secours et enfin la protection des utilisateurs.

II.1.1 problème de routage dans VANET :

La congestion urbaine du trafic existe depuis au moins la première révolution urbaine, celle du XIIe siècle. Le mal n'est pas nouveau mais il a gagné considérablement, depuis une douzaine d'années, en profondeur et en étendue. Malgré les progrès techniques et technologiques accomplis par l'homme dans tous les domaines de la connaissance, le trafic routier reste victime d'une congestion sans cesse croissante. Il sera sans doute bientôt possible de voyager jusqu'à la planète Mars, mais la congestion continue à demeurer un véritable casse-tête pour les gestionnaires routiers de tous les pays. Pour gérer efficacement le trafic routier, la technologie VANET offre une solution prometteuse à l'autorité publique [12].

II.2 Définition de réseaux véhicule ad-hoc :

Les réseaux véhiculaires aussi appelés VANET (Véhiculer Ad-hoc network) constituent une forme particulière des réseaux MANET ou les nœuds mobiles sont des véhicules équipés de calculateurs,

de cartes réseaux et de capteurs. Comme tous les autres réseaux A-hoc, les véhicules peuvent communiquer entre eux ou avec des stations de base placées tout au long des routes.

Les réseaux véhiculaires regroupent deux grandes classes d'application, à savoir les applications qui permettent de bâtir un système de transport intelligent et celles liées au confort du conducteur [9].



Figure II. 1 : exemple d'un réseau VANET

II.2.1 Le Nœud du réseau VANET :

Un nœud d'un réseau VANET est un véhicule équipé de terminaux tels que les calculateurs, les interfaces réseaux ainsi que des capteurs capables de collecter les informations et de les traiter. On parle de la notion de « véhicule intelligent ». La Figure II.2 modélise un véhicule intelligent [15].

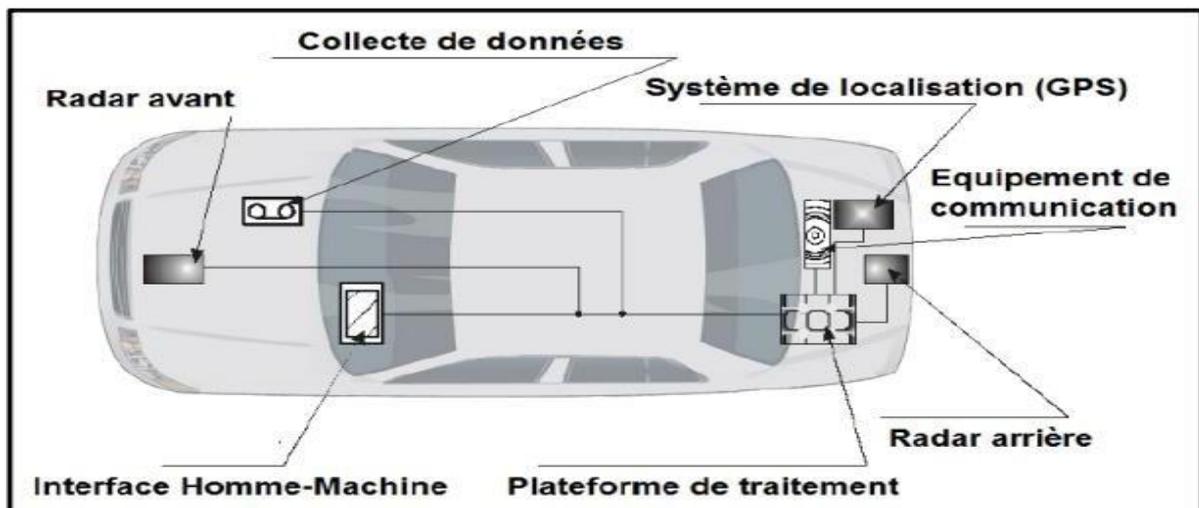


Figure II. 2: Véhicule intelligent [15]

II.2.2 Architecture et caractéristiques des réseaux véhiculaires [10] :

L'architecture des réseaux véhiculaires Ad hoc (VANET) peut être décrite par plusieurs entités.

Trois principes entités permettent d'établir la communication dans un réseau VANETs :

II.2.2.1 RSU (Road side unit):

Les « RSU » sont des équipements externes aux véhicules installés au bord des routes. Ils diffusent vers les véhicules des informations liées à l'état du trafic, l'état de la route, ainsi que des informations météorologiques. Ils sont d'ailleurs utilisés comme des routeurs entre les véhicules.

II.2.2.2 OBU (On_Board Unit):

Les « OBU » sont des équipements radio installés dans les véhicules qui permettent à ces derniers de se localiser et qui garantissent l'envoi et la réception des données sur l'interface réseau.

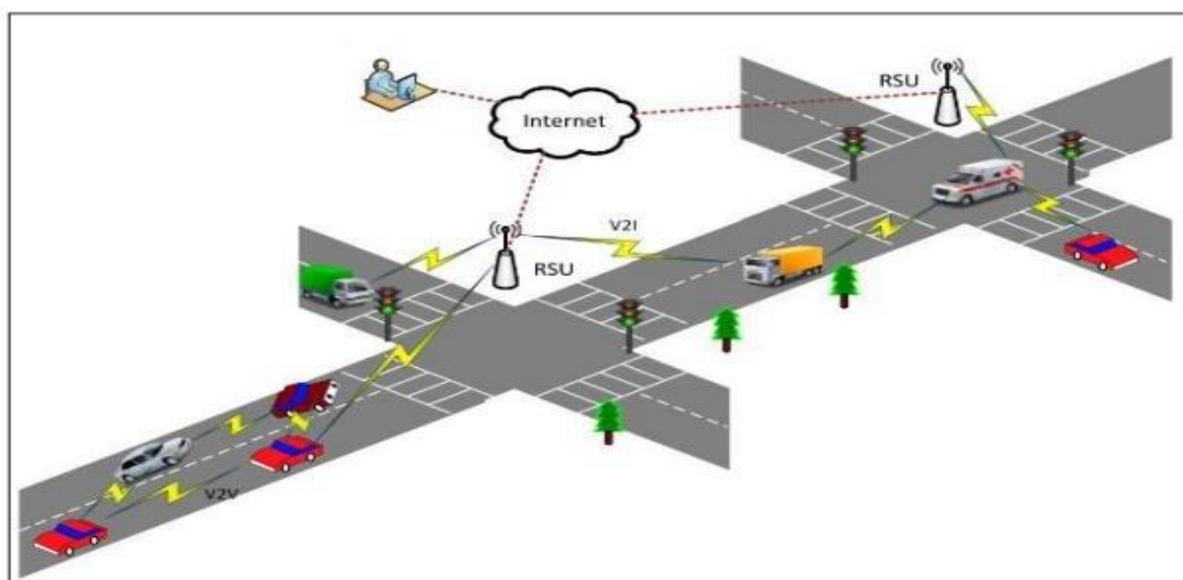


Figure II. 3: Communication basée sur les RSU.

II.2.2.3 L'autorité centrale (central Authority : CA) :

C'est un tiers de confiance qui a comme rôle de signer et délivrer les certificats numériques. L'autorité centrale peut aussi dans certaines circonstances révéler l'identité de l'expéditeur d'un message.

II.2.3 Modes de communication dans les réseaux VANETs :

On peut distinguer trois modes de communication, Les communications véhicule-à-véhicule (v2v), les communications véhicule-à-infrastructure (v2I) et les communications qui combinent les deux modes (V2X).

II.2.3.1 Mode de communication véhicule-à-véhicule (V2V) :

Ce mode de communication est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure. En effet, les véhicules peuvent communiquer directement avec un autre véhicule s'il se situe dans sa zone de couverture, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Dans ce mode, Les interfaces de communication utilisées sont caractérisées par un grand débit de transmission et une petite latence **Figure II.4.**

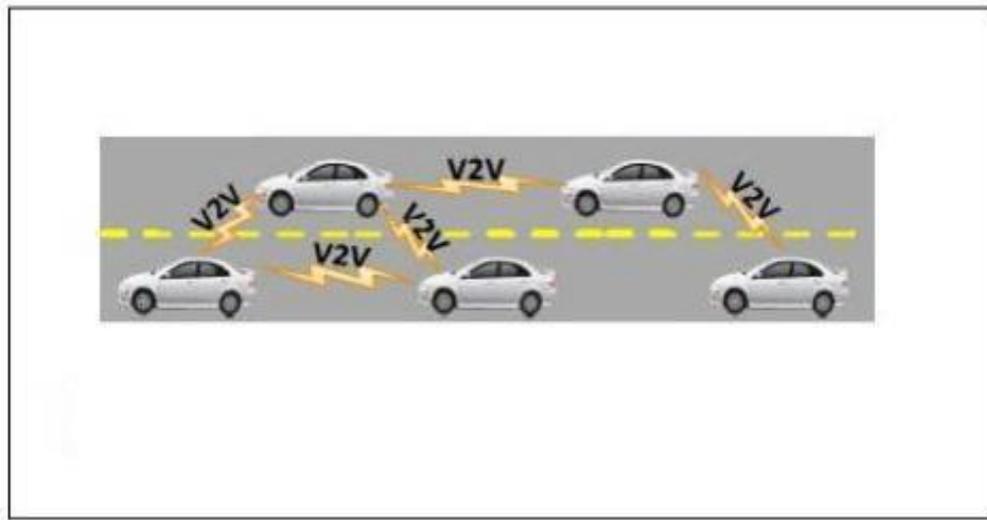


Figure II.4:mode de communication v2v [25].

II.2.3.2 Mode communication de véhicule à infrastructure (V2I) :

Ce mode de communication utilise des infrastructures (Road side Units) déployées aux bords des routes pour fournir des services comme l'accès internet, les communications de voiture à garage de réparation pour diagnostic distant **Figure II.5.**

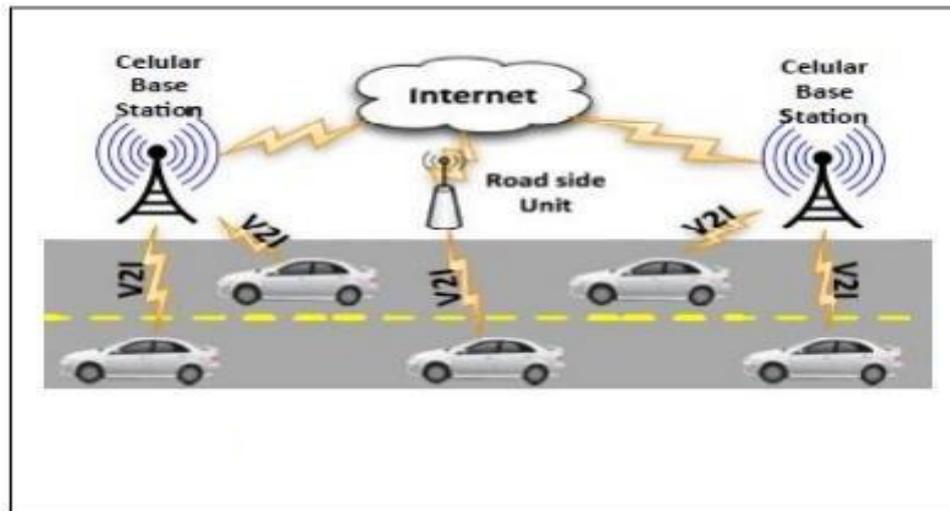


Figure II.5: mode de communication de véhicule à infrastructure [25].

II.2.3.3 Mode de communication hybride (V2X) :

Les communications entre les véhicules s'effectuent soit en mode V2V si le véhicule destinataire se trouve dans la gamme de transmission ou bien en mode V2I si la destination se trouve hors gamme de transmission. Ces deux modes sont généralement combinés pour donner naissance à une communication hybride très intéressante figure II.6 [11].

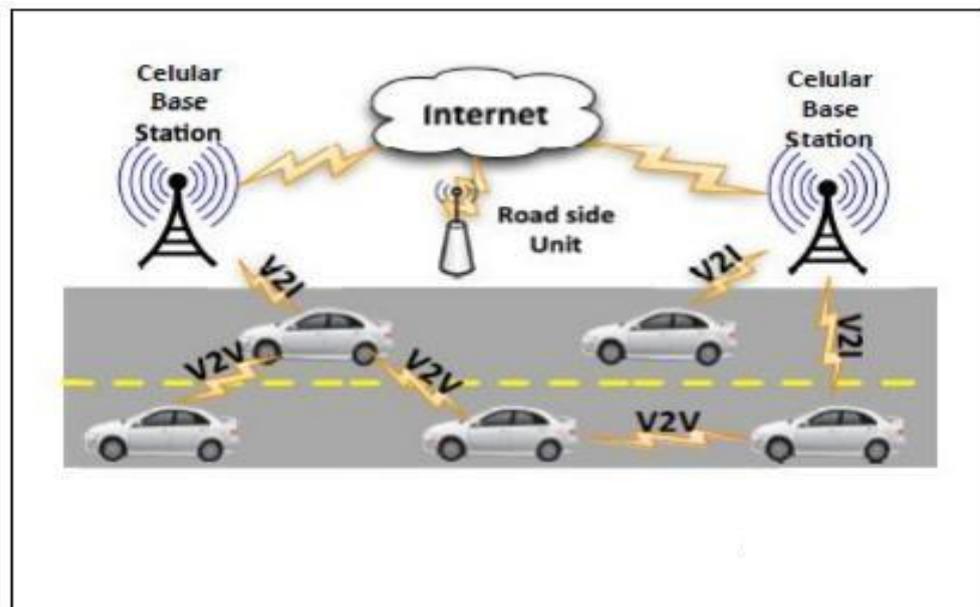


Figure II.6: Mode de communication v2x [25].

II.2.4 Les caractéristiques des VANETs :

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques qui les distinguent de réseaux ad-hoc mobiles, ces caractéristiques doivent être prises en compte lors de conception des protocoles pour les VANETs [12].

II.2.4.1 La capacité d'énergie et stockage :

Contrairement au contexte des réseaux MANET ou la contrainte d'énergie représente un défi pour les chercheurs, les éléments des réseaux VANET disposent suffisamment d'énergie qui peut alimenter les différents équipements électroniques d'une voiture intelligente.

Donc les nœuds sont censés avoir une grande capacité de traitement et de stockage de données.

Afin de localiser et faciliter la communication entre les différentes entités du réseau, des systèmes de localisation par satellite comme GPS sont utilisés dans les réseaux VANETs [12].

II.2.4.2 Topologie dynamique :

La topologie des VANETs change en raison de la circulation des véhicules à grande vitesse. Supposons que deux véhicules se déplacent à la vitesse de 20 m/s et la portée radio entre les deux est de 160 m, alors le lien entre les deux véhicules durera $160/20 = 8$ secondes si les deux véhicules circulent dans deux directions différentes [15].

II.2.4.3 Connectivité :

La forte mobilité des véhicules et le changement rapide de la topologie de réseau, rend la connectivité de courte durée surtout lorsque la densité des véhicules est très faible. Afin de régler le problème de connectivité, il faut un déploiement de plusieurs nœud relais ou points d'accès le long de la route, ce qui permettrait la retransmission de l'information sur de longues distances [12].

II.2.4.4 Modèle de communication :

Les types de communication se basent sur la diffusion des messages d'une source vers plusieurs destinataires et on l'appelle communication broadcast. Aussi, une communication unicast peut être établie entre les entités [10].

II.2.4.5 Diffusion de type d'information :

Généralement les types d'informations communiquées dans un réseau VANET s'orientent sur la diffusion du message de prévention ou d'alerte d'une source à une ou plusieurs destinations. Néanmoins, la diffusion est faite en fonction de la position géographique et le degré d'implication de véhicule dans l'évènement déclenché. Dans de telles situations, les communications sont principalement unidirectionnelles [13].

II.2.5 Domaines d'application des VANET :

Les applications des VANETs peuvent être classées en quatre grandes catégories :

Les applications de sécurité, les applications de gestion du trafic routier, les applications pour l'accès aux informations et les applications du confort.

II.2.5.1 Applications de sécurité :

Les applications de la sécurité routière ont comme principal objectif, l'amélioration de la sécurité des conducteurs et/ou des passagers sur les routes. Elles visent à sauver des vies humaines en avisant les véhicules de toute situation dangereuse et en réduisant ainsi le nombre des accidents sur les routes. Cette catégorie d'applications comporte tous les services ayant un impact direct sur la sécurité des personnes et des biens.

Parmi les applications de sécurité routière, on trouve les applications d'aide aux dépassements de véhicules, des alertes de freinage d'urgence, des avertissements de collision et d'accidents, de communication d'informations sur l'état de la chaussée [14].

II.2.5.2 Applications de gestion de trafic routier :

Les applications de gestion du trafic routier visent à améliorer la fluidité de la circulation des véhicules, prévenir la congestion et garantir une utilisation efficace des capacités des routes dans le but de réduire les embouteillages.

Plusieurs services sont proposés pour cette catégorie, parmi lesquels on peut citer : la surveillance de l'état du trafic, l'ordonnancement des feux de signalisation, la prédiction des embouteillages, la proposition des itinéraires alternatifs [14].

II.2.5.3 Applications de confort :

Les applications de confort ou de divertissement ont comme principal objectif d'assurer aux usagers de la route un voyage convivial et agréable grâce à l'utilisation de nouveaux services tels que les services de la communication à vocation de divertissement comme par exemple les jeux en réseau et le partage de la musique et de la vidéo.

À toutes ces applications s'ajoutent les annonces d'ordre commercial comme les offres des restaurants ou d'ordre culturel comme les informations touristiques. Il y a aussi des services télématiques qui visent à faciliter la vie des usagers de la route comme le péage à distance sur les autoroutes [14].

II.2.5.4 Applications pour l'accès à l'information :

Sur la route, le voyageur peut obtenir l'information qu'il veut à l'aide des cartes, de GPS, et des messages. Ces informations rendent le voyage du passager très facile en fournissant l'information actualisée [17].

II.2.6 Type de messages [10].

Les entités formant un réseau sans fil véhiculaire ad hoc vont générer et s'échanger des messages en fonction de l'application et du contexte environnemental, un véhicule peut envoyer (ou recevoir) un message de contrôle, ou autre.

II.2.6.1 Message de contrôle :

Le message de contrôle est généré à intervalles réguliers. Conventionnellement, chaque véhicule émet un message de contrôle toutes les 100ms. Ce message, appelé aussi (beacon) contient la position, la vitesse, la direction et l'itinéraire du véhicule émetteur. Grâce aux messages de contrôle, chaque véhicule se crée une vue locale de son voisinage.

Le véhicule peut aussi prédire et anticiper des situations d'accidents ou de congestion.

Le message de contrôle est l'équivalent du message HELLO des protocoles de routage. Chaque véhicule se fait donc connaître dans son voisinage direct. Bien entendu, les messages de contrôle ne sont pas retransformés et utilisent une diffusion à un saut.

II.2.6.2 Les messages d'alerte :

Ce sont des messages générés dans le cas d'un accident, ou de congestion, d'un obstacle sur la route, etc. Ils permettent d'améliorer la sécurité routière, et de gérer le trafic routier. Lorsqu'un accident survient dans une zone, un message d'alerte est émis, ce message doit être retransmis à intervalles réguliers pour assurer que l'alerte est toujours valide. En effet, grâce à ces messages, les nœuds mobiles peuvent réduire leurs vitesses ou trouver un autre itinéraire dans le cas d'un secteur à dense trafic routier.

Ce message de sécurité est généré lorsqu'un événement qui mérite l'attention du conducteur est détecté. De plus, ces messages doivent être de taille réduite pour pouvoir être retransmis rapidement dans le réseau.

II.2.6.3 Les autres messages :

En plus des messages de contrôle et d'alertes, les entités du réseau véhiculaire peuvent échanger des messages d'une application multimédias ce qui rend la route moins ennuyeuse et facile.

II.2.7 Modes de transmission dans les réseaux VANET [25]:

Les échanges de données entre un nœud et ses voisins dans un réseau véhiculaire peuvent être établis suivant quatre façons :

- *Le mode Unicast (point-à-point) :*

Dans ce mode, l'information est envoyée d'un nœud source vers un destinataire bien déterminé.

- *Le mode Broadcast (Diffusion) :*

Un message est inondé ou diffusé broadcast à tous les nœuds du réseau.

- *Le mode Multicast (multipoint) :*

Dans ce mode, l'information est envoyée d'un nœud source vers un groupe de nœuds destinataires.

- *Le mode Géocast :*

La transmission dans ce mode est multicast où le message est reçu par des nœuds des trinitaires appartenant à des zones géographiques différentes.

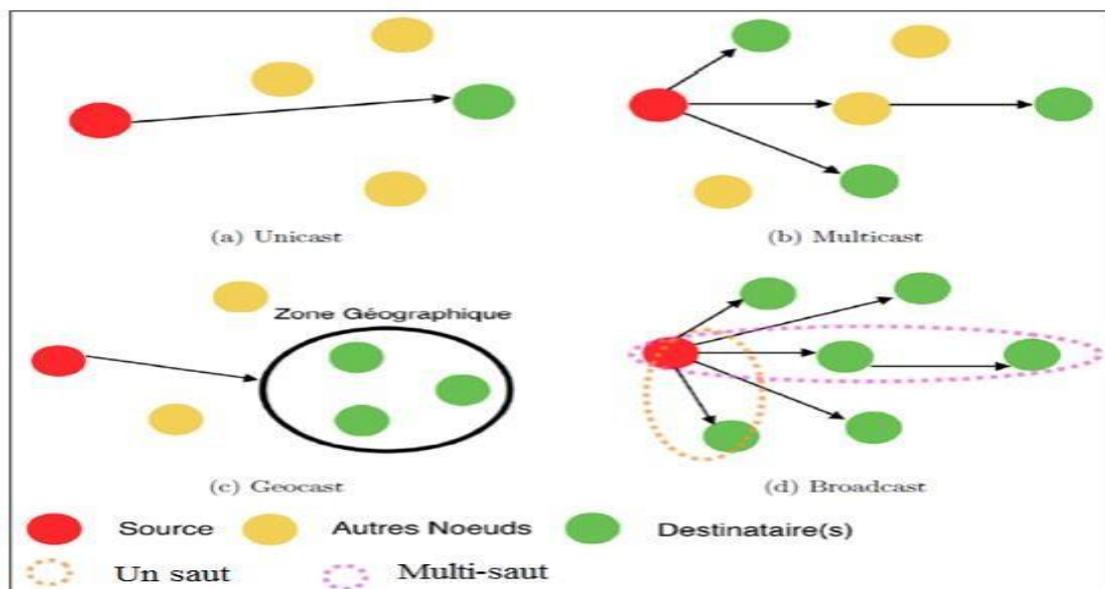


Figure II.7: Les différents types de mode de transmission dans les VANETs

II.3 Avantages des réseaux VANETs [15] :

II.3.1 Topologie dynamique :

Dans les VANETs, les nœuds du réseau ad hoc sont des véhicules roulant sur une route ou une autoroute. Il s'agit d'un réseau ad hoc dit fortement mobile. Donc, la topologie du réseau subit des changements fréquents, cependant, les caractéristiques des VANETs permettent de maintenir les communications et les échanges des messages en dépit des changements fréquents des positions des nœuds.

II.3.2 Echange entre nœuds hétérogènes :

Les composants d'un réseau VANET utilisent différentes techniques mais grâce aux protocoles insaturés par les concepteurs pour ce type de réseaux un bon échange d'informations est toujours garanti.

II.3.3 Propagation par trajet multiple :

Les informations partagées par un véhicule peuvent être reçues par tous les autres véhicules se trouvant dans sa zone de couverture.

II.4 Inconvénients des réseaux VANETs [15] :

II.4.1 Canal radio partagé et limité :

Un canal radio à fréquences précises est utilisé par tous les nœuds, le flux d'information est donc limité et le débit de transmission diminue surtout dans les centres villes.

II.4.2 Faible bande passante :

Le partage du canal limite la bande passante dont dispose chaque nœud pour partager les informations.

II.4.3 Les interférences :

Les réseaux VANETs utilisent les transmissions radio pour transmettre l'information, ce qui rend les communications exposées aux interférences radio. Ces dernières sont de nature diverse comme : le rapprochement des fréquences d'émission (interférences entre deux nœuds), les bruits de l'environnement (équipements électriques, moteurs) qui déforment le signal.

II.5 Routage dans les réseaux véhiculaires VANET [22] :

Un réseau ad-hoc de véhicules (VANET), est une sous-classe de réseaux mobiles ad-hoc (MANETs). Il est considéré comme une approche prometteuse pour le système de transport intelligent (STI). La conception des protocoles de routage dans les VANETs est un problème important et nécessaire pour supporter les STI. La principale différence entre les VANETs et les MANETs est le modèle de mobilités spéciales et la topologie rapidement modifiable. Il n'est pas effectivement pratique d'appliquer les protocoles de routage existants des MANET pour les réseaux VANETs.

Le routage est basé sur des communications multi-sauts, cela rend la communication entre deux nœuds ou plusieurs possibles même s'ils ne sont pas dans la même portée de transmission radio. La stratégie de routage doit prendre en considération les différentes caractéristiques des réseaux VANETs (changements de topologie, la mobilité forte, la capacité limitée des liaisons radio, etc.) pour assurer une stratégie permettant de garantir une connectivité du réseau permanente.

II.5.1 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANETs :

Les protocoles de routage traditionnels des MANETs sont pour la plupart inadaptée aux VANETs. En effet, dans les VANETs, la vitesse peut être beaucoup plus élevée que les MANETs dans certains environnements de communication comme les autoroutes [17].

Un grand nombre de protocoles de routage existe dans les VANETs sous formes de cinq catégories [5] :

- Les protocoles basés sur la topologie, qui sont divisés en protocoles proactifs, réactifs et hybrides.
- Les protocoles basés sur la localisation (géographique) qui utilisent la position physique des nœuds mobiles pour configurer le routage.
- Les protocoles basés sur les clusters.
- Les protocoles basés sur le mode de diffusion « Géocast ».
- Les protocoles basés sur la mode de diffusion « broadcast ».

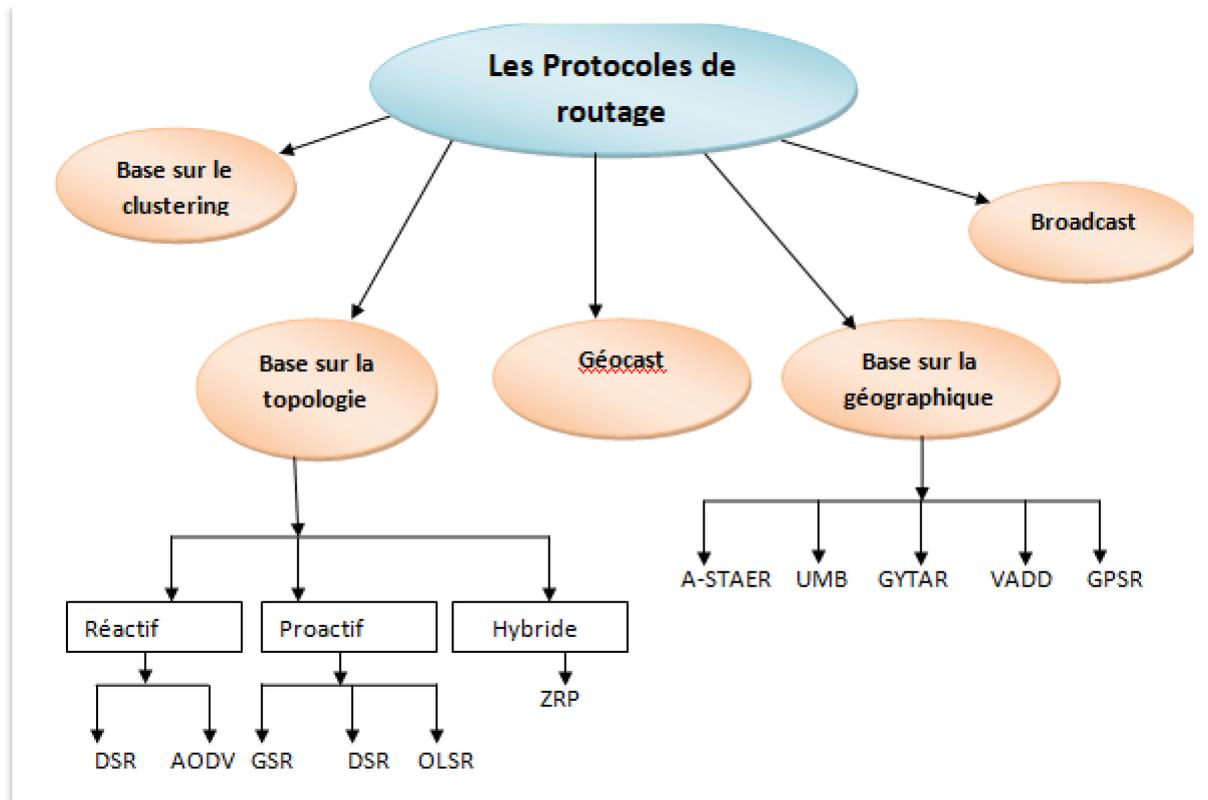


Figure II.8: classification des protocoles de routage dans les VANETs

II.5.2 Protocoles basés sur la topologie :

Les protocoles de routage basés sur la topologie utilisent les informations sur les liens qui existent entre les nœuds pour l'acheminement des paquets.

Cette famille de protocoles peut être divisée en trois catégories : proactifs, réactifs et hybrides [17].

II.5.2.1 Protocoles proactifs [17]:

Les protocoles de routage proactifs sont basés sur le même principe que les protocoles de routage dans les réseaux filaires. Ils disposent toujours en mémoire des meilleurs chemins existants vers toutes les destinations du réseau. La sauvegarde permanente est accomplie par des échanges de messages de contrôle et de mise à jour des chemins selon des critères prédéfinis.

Parmi ces critères, le nombre de nœuds, le délai ou bien la bande passante disponible sur le chemin calculé. Les protocoles les plus répandus sont DSDV et OLSR.

❖ Le protocole OLSR(Optimized Link State Routing) [25] :

OLSR est un protocole de routage proactif, considéré comme une optimisation du protocole à état des liens filaires pour les réseaux mobiles Ad Hoc. Il est utilisé dans les réseaux denses et peu mobiles.

Il a pour objectif de fournir des routes de plus court chemin vers une destination en termes de nombre de sauts en utilisant l'algorithme de « Dijkstra ». Son innovation réside dans sa façon d'économiser les ressources radio lors des diffusions.

OLSR réalisé grâce à l'utilisation de la technique des relais multipoints (MPR : Multi-Point Relaying).

Le principe est que chaque nœud construit un sous ensemble appelé MPR, parmi ses voisins, qui permet d'atteindre tous ses voisins à deux sauts, les nœuds de cet ensemble servent à acheminer et retransmettre les messages qu'ils reçoivent. Les voisins d'un nœud qui ne sont pas MPRs, lisent et traitent les paquets mais ne les retransmettent pas (Figure II.8).

Le processus de construction des routes dans OLSR passe par les étapes suivantes:

- Découverte du voisinage.
- Sélection des relais multipoints.
- Annonce des MPRS et diffusion des voisinages.
- Calcul des tables de routage.

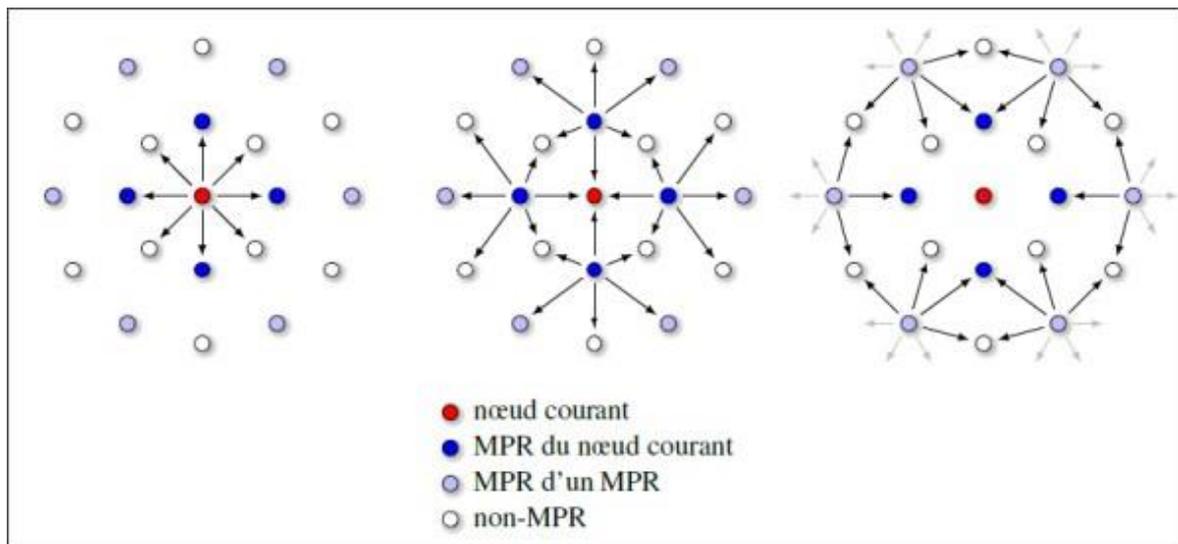


Figure II.9: Sélection des MPRs dans OLSR [25] .

- **Avantage et inconvénient:**

Le protocole OLSR offre plusieurs fonctionnalités tout en optimisant des routes en termes de sauts, il permet ainsi de minimiser le nombre de messages de contrôle grâce au concept de MPR et offre la possibilité de communiquer entre un réseau MANET et un réseau filaire.

- Malgré tous ces atouts, le protocole OLSR est plus atteignable par le problème de sécurité [20].

- ❖ **Le Protocole DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) :**

L'algorithme DSDV a été conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque nœud maintient une table de routage qui contient des informations sur les destinations accessibles dans le réseau.

Ces informations comprennent : le nœud suivant utilisé pour atteindre la destination, le nombre de sauts qui sépare le nœud de la destination et le numéro de séquences (SN) qui correspond à un nœud destination. Ce numéro de séquence permet de distinguer les nouvelles routes des anciennes et d'éviter la formation de boucles de routage.

Les mises à jour des tables sont transmises périodiquement à travers le réseau. Quand un nœud reçoit un paquet de mise à jour, il le compare avec les informations existantes dans sa table de routage.

Toute entrée dans la table est mise à jour si l'information reçue est plus récente (ayant un numéro de séquence plus grand), ou si elles ont le même numéro de séquence mais avec une distance plus courte [16].

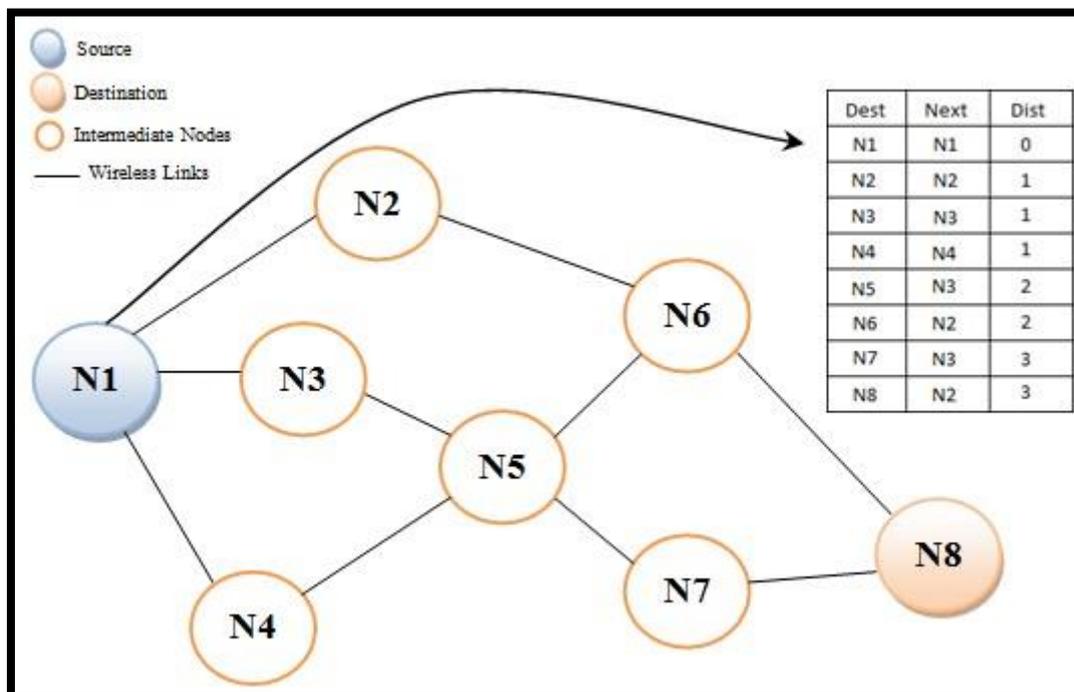


Figure II.10: exemple de DSDV

- **Les Avantages et inconvénients du DSDV [20]:**

Avantage :

- Le gain de temps lorsqu'une route est demandée.
- DSDV maintient le meilleur chemin à la place de maintenir plusieurs chemins pour chaque destination, ce qui permet de réduire l'espace dans la table de routage.

Inconvénient :

- Le gaspillage de la bande passante : dans le cas où il n'y a pas des changements de topologie du réseau.
- DSDV atteint rapidement ses limites avec l'accroissement du nombre de nœuds dans le réseau.
- La mise à jour périodique des informations de routage augmente davantage la consommation de la bande passante.

II.5.2.2 Les protocoles de routage réactifs [24]:

Les nœuds construisent une table de routage seulement lorsqu'un nœud voisin en fait la demande ou qu'il doit démarrer une transmission. Ils ne connaissent donc pas la topologie du réseau lorsqu'ils sont inactifs.

- ❖ **Le Protocole AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector):**

AODV est un protocole de routage réactif qui établit une route lorsqu'un nœud nécessite l'envoi de paquet de données. Il utilise un numéro de séquence de destination (Destination Sequence Number) qui le distingue des autres protocoles de routage à la demande [22].

Fonctionnement du protocole AODV [21]:

Le protocole AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing) utilise trois types de messages afin de construire et de contrôler l'état des liens lors d'une communication : RREQ (route request), RREP (route replay) et RERR (route erreur).

Le message de type requête (RREQ) est diffusé par le nœud source afin de découvrir le réseau. Le message de réponse (RREP) est initié par le nœud destinataire ou par un nœud qui a reçu RREQ et il connaît le chemin jusqu'à la destination afin de rapporter à la source les informations à propos du chemin choisi.

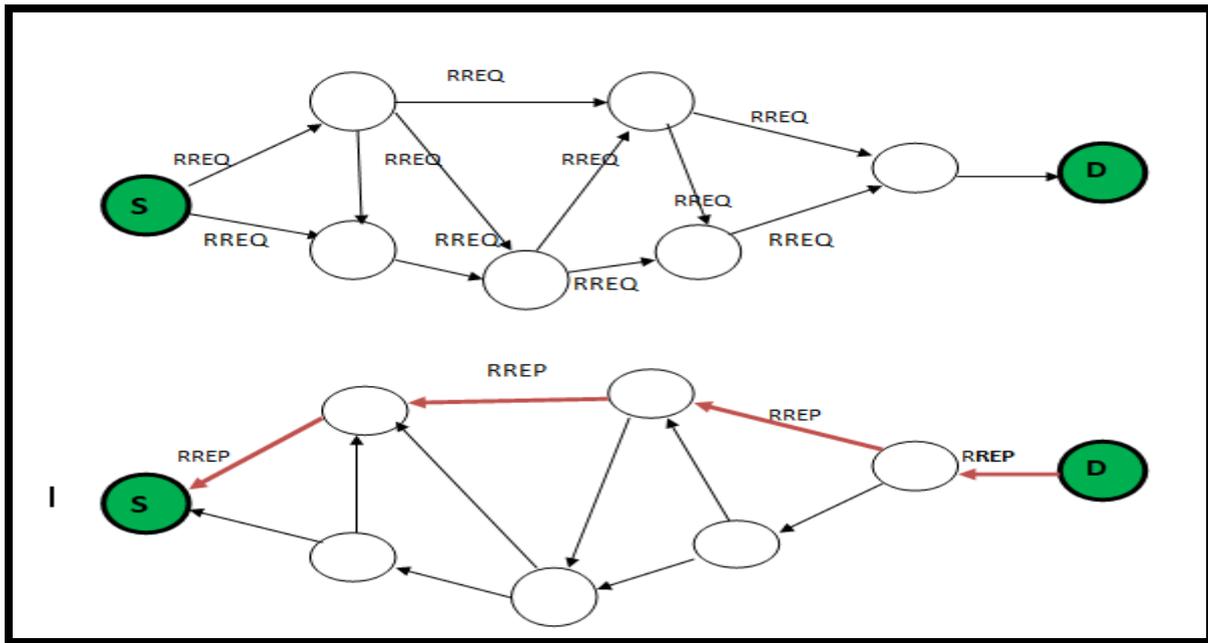


Figure II.11: Fonctionnement d'AODV

Un paquet, qu'il soit de données ou de contrôle (par exemple les messages RREP et RREQ utilisés pour établir la route), possède un numéro d'identification unique. Ce numéro est dépendant du temps : le paquet avec le numéro le plus élevé est le paquet le plus récent. Nous appelons cela le numéro de séquence. Ce procédé est très utile pour le routage de l'information. Par exemple, si le nœud source reçoit plusieurs réponses, il choisira celle qui possède la route la plus à jour (c'est-à-dire celle qui a le numéro de séquence le plus élevé). De plus, dans le cas de réseaux VANETs où la mobilité est élevée et l'état des liens est souvent modifié, ce procédé est très utile.

Le protocole AODV utilise le principe des numéros de séquences afin de contrôler si les liens utilisés pour atteindre la destination sont mis à jour.

Chaque nœud possède un numéro de séquence qu'il incrémente à chaque fois qu'il reçoit des informations utiles de la part des messages RREQ, RREP ou RRER. Cela permet à chaque nœud du réseau de valider si la route qu'il connaît vers la destination est bien la bonne. Lors de la réception d'un message RREQ ou RREP, les nœuds exécutent une série de vérification afin de mettre à jour leurs tables de routage. Ces décisions sont prises en fonction du numéro de séquence ainsi que du nombre de sauts entre le nœud et la destination.

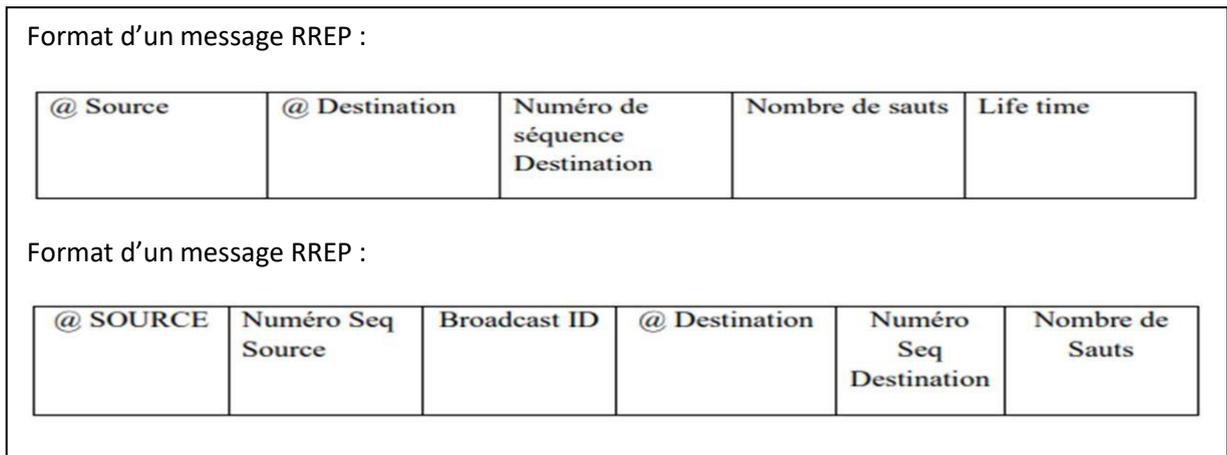


Figure II.12: format de message AODV.

- **Les avantages et les inconvénients AODV [22] :**

Les avantages :

- Un chemin est automatiquement mis à jour grâce à l'utilisation du numéro de séquence de destination.
- AODV réduit les exigences de mémoire excessives et élimine l'itinéraire redondant.
- AODV réagit rapidement à l'échec d'un lien dans le réseau.
- Il peut être appliqué aux réseaux ad-hoc à grand échelle.

Les inconvénients :

- Plus de temps est nécessaire pour établir une route par rapport à d'autres approches.
- Plusieurs réponses d'itinéraire entraîneront de lourds coûts de contrôle.

- ❖ **Le Protocol DSR (Dynamic Source Routing) :**

Ce protocole crée les routes à la demande comme le protocole AODV. Il utilise la technique "routage à la source" dans laquelle la source inclut dans l'entête du paquet la route complète par laquelle un paquet doit passer pour atteindre sa destination.

Les nœuds intermédiaires entre la source et la destination n'ont pas besoin de maintenir à jour les informations sur la route traversée puisque la route complète est insérée dans l'entête du paquet.

Le protocole DSR est composé de deux mécanismes : la découverte de route et la maintenance de route.

Le premier permet de chercher les routes nécessaires à la demande, tandis que le second permet de s'assurer de l'état des routes tout au long de leur utilisation [17].

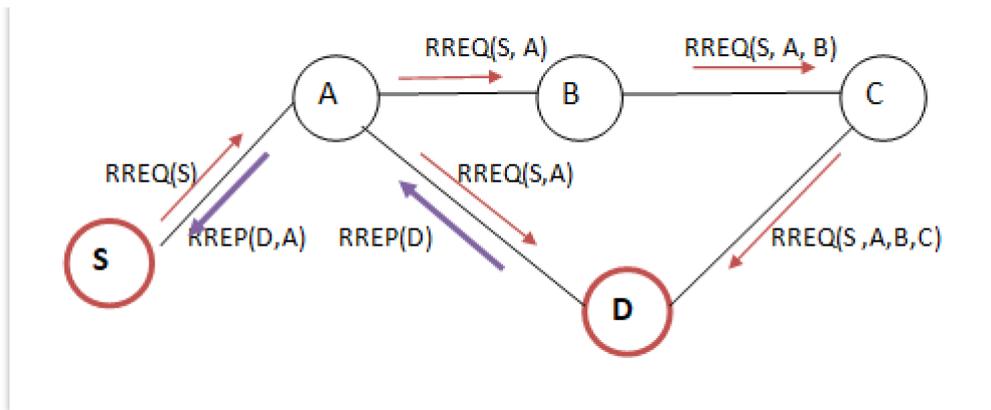


Figure II.13: Exemple de fonctionnement de DSR

- **Les avantages et Les inconvénients DSR:**

Le protocole de routage DSR offre plusieurs avantages potentiels pour les MANETs. Il permet de réduire les frais de la bande passante par l'absence des messages de contrôle, ainsi qu'il s'adapte mieux aux changements de la topologie du réseau.

Cependant, il nécessite en contrepartie un certain temps pour établir la route avant de transmettre les données effectives [20].

II.5.2.3 Les protocoles de routage hybrides :

Il s'agit d'une combinaison des protocoles proactifs et réactifs (proactif en local et réactif en distant) tels que ZRP et CBRP.

Ces protocoles utilisent un protocole proactif pour garder la connaissance de la topologie pour un nombre prédéfini de sauts (par exemple un voisinage de deux ou trois sauts) et au-delà de cette zone prédéfinie les routes vers des nœuds plus lointains sont obtenues par les techniques des protocoles réactifs, c'est à dire par l'envoi des requêtes en diffusion. Ces protocoles s'adaptent bien aux réseaux plus ou moins denses.

Les protocoles hybrides sont des protocoles qui mettent en valeur les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpe des réseaux. Toutefois, ils héritent toujours quelques inconvénients des deux approches proactives et réactives [17].

- ❖ **Le Protocole ZRP (Zone Routing Protocol) :**

ZRP est un protocole hybride qui combine les deux approches proactive et réactive.

Le protocole ZRP divise le réseau en différentes zones. Pour chaque nœud, il définit une zone de routage exprimée en nombre de sauts maximal.

La zone de routage d'un nœud inclut tous les nœuds qui sont à une distance maximale de sauts. Les nœuds qui sont exactement à cette distance de sauts sont appelés nœuds périphériques. À l'intérieur de cette zone, ZRP utilise un protocole proactif et à l'extérieur de cette zone de routage, il fait appel à un protocole réactif [17].

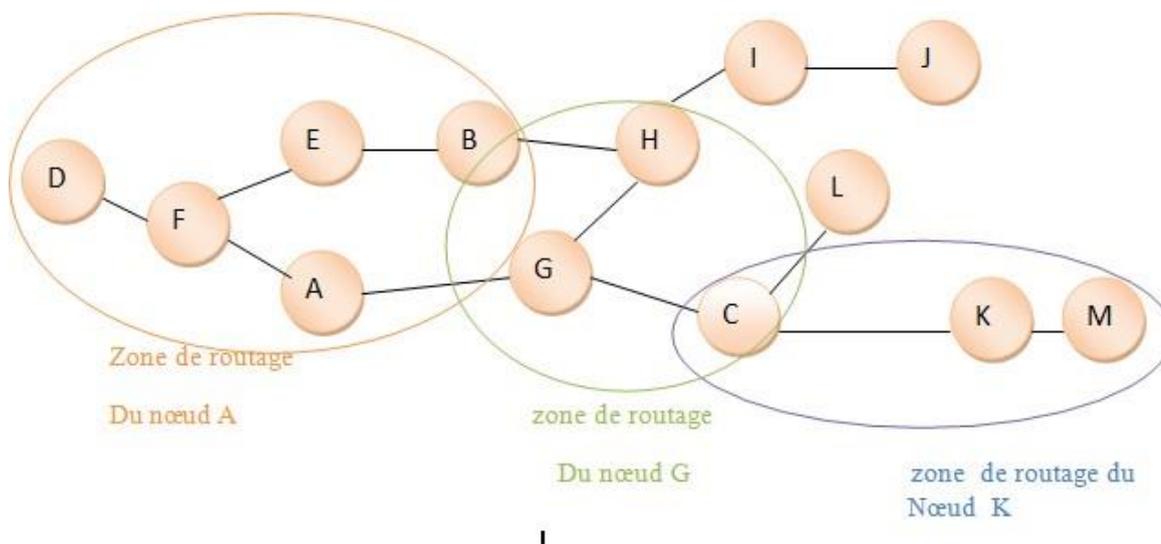


Figure II.14: Exemple d'exécution de ZRP.

- **Avantages et inconvénient des protocoles hybrides :**

Le protocole hybride est un protocole qui se veut comme une solution mettant en commun les avantages des deux approches précédentes en utilisant une notion de découpage du réseau.

Cependant, ils cumulent toujours quelques inconvénients des deux approches proactive et réactive [20].

II.5.3 Routage géographique :

Les protocoles de routage géographique (ou basés sur la position) utilisent des coordonnées géographiques (par exemple, fournies par un système de géo localisation tel que le GPS) afin de trouver un chemin vers la destination.

Chaque nœud source inclut l'identifiant et la position de la destination dans l'entête de tout paquet à envoyer, les nœuds recevant ce paquet utilisent les informations géographiques incluses dans ce dernier et celles disponibles dans leurs tables de routage pour acheminer le paquet vers la destination.

L'avantage majeur de ces protocoles par rapport aux protocoles basés sur la topologie, est qu'ils réduisent considérablement les paquets de contrôles, plus particulièrement dans les réseaux larges et dynamiques [24].

❖ Le protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing):

GPSR est un protocole de routage réactif et efficace pour les réseaux sans fil mobiles. Contrairement à des algorithmes de routage développés avant GPSR, qui utilisent des notions de la théorie des graphes pour trouver les plus courts chemins, GPSR exploite la correspondance entre la position géographique et la connectivité dans un réseau sans fil, en utilisant les positions des nœuds pour prendre des décisions d'acheminement des paquets [24].

Dans GPSR l'acheminement des paquets se fait selon deux modes :

a) Greedy Forwarding (GF) :

Un nœud peut prendre une décision optimale et locale pour choisir le prochain nœud à qui transférer le paquet reçu. Le nœud suivant est toujours le voisin le plus proche géographiquement de la destination. Cette technique est répétée de manière récursive jusqu'à ce que la destination soit atteinte [24].

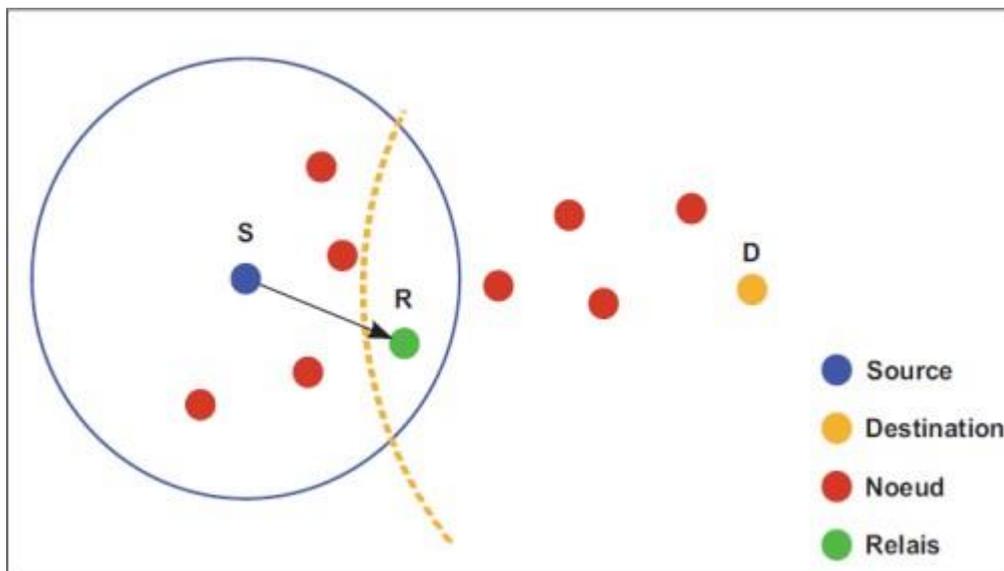


Figure II.15: Exemple de Greedy Forwarding

b) Perimeter Forwarding (PF) :

Parfois, le nœud source se trouve plus proche de la destination que tous ses voisins, il est le maximum local dans son entourage par rapport à la destination finale qui reste inaccessible en un seul saut.

Pour pallier à ce problème, la transmission de périmètre « Perimeter Forwarding » est utilisée pour router les paquets autour du trou. Ces paquets se déplacent, parcourant le chemin dans le sens inverse des aiguilles d'une montre par rapport au segment [Source-Destination] en partant du nœud source jusqu'au nœud le plus proche de la destination [24].

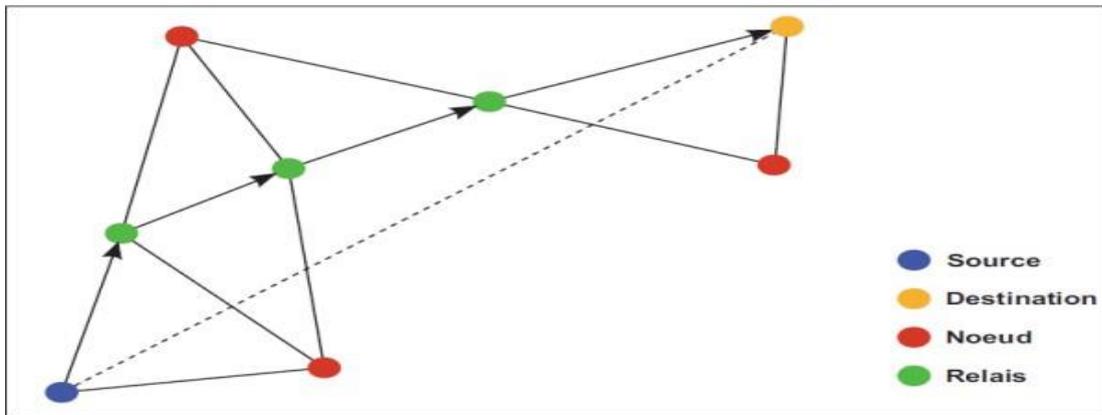


Figure II.16: exemple de Perimeter Forwarding

- **Les avantages et Les inconvénients [22]:**

Les avantages

- Pour transférer le paquet, un nœud doit se souvenir d'un seul saut.
- Les décisions de transmission sur les paquets sont effectuées dynamiquement.

Les inconvénients

- Bien que le nœud de destination transfère ses informations dans l'entête des paquets aux nœuds intermédiaires, ces informations ne sont jamais mises à jour.

- ❖ **Le protocole A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing):**

A-STAR est un protocole de routage basé sur la position qui est spécialement conçue pour les scénarios de veille pour les systèmes de communication entre véhicules. Il assure une connectivité élevée dans la livraison de paquets en utilisant la circulation des véhicules.

Les informations de routes fournies par les bus donnent une idée sur la charge du réseau véhiculaire dans chaque rue. Ce qui donne une image de la ville a des moments différents [16] [22].

- **Les avantages et Les inconvénients [22] :**

Les avantages:

- Dans une densité de trafic faible, A-STAR assure une recherche de connexion.
- ASTAR utilise une nouvelle reprise locale, et une stratégie qui convient mieux à l'environnement de la ville.
- La sélection de l'option A-STAR assure une connectivité élevée.

Les inconvénients :

- Le taux de livraison des paquets d'A-STAR est inférieur à celui de GPSR.
- Pour trouver un chemin de la source vers la destination, il utilise des paramètres statiques basés sur les itinéraires de bus de la ville qui causent un problème sur une partie des rues.

❖ Le protocole UMB (Urban Multi hop Broadcast Protocol):

UMB est un protocole de routage basé sur la diffusion multi-saut pour les réseaux véhiculaires avec support d'infrastructure.

Contrairement aux protocoles de diffusion par inondation, UMB confie les opérations d'envoi et de reconnaissance des paquets aux nœuds les plus éloignés sans connaître à priori des informations sur la topologie du réseau. UMB est décomposé en deux phases :

La première appelée diffusion directionnelle, où le véhicule source sélectionne un nœud dans la direction de diffusion pour faire un relai de données sans aucune information sur la topologie.

La deuxième appelée diffusion aux intersections pour disséminer les paquets dans toutes les directions, pour cela UMB utilise des répéteurs installés dans les intersections pour l'envoi des paquets vers tous les segments. On suppose que chaque véhicule est équipé d'un récepteur GPS (Global Position System) et d'une carte routière électronique.

Le principal avantage du protocole UMB est la fiabilité de diffusion multi-saut dans les canaux urbains [19].

❖ Le protocole GyTAR (Greedy Traffic Aware Routing):

GyTAR est un protocole de routage géographique bien adapté aux environnements urbains.

Il se compose de deux parties : le mécanisme de sélection dynamique de jonction et d'une stratégie de transfert entre les deux jonctions en cause. Tout d'abord, la prochaine intersection est sélectionnée, puis le protocole met en œuvre la stratégie de transfert dans la jonction sélectionnée. Le nœud source trouve la position du nœud de destination via le service de localisation de la grille (GLS).

Les cartes numériques sont utilisées pour identifier la position des jonctions et également pour sélectionner le plus court chemin vers la destination en utilisant l'algorithme de Dijkstra [15].

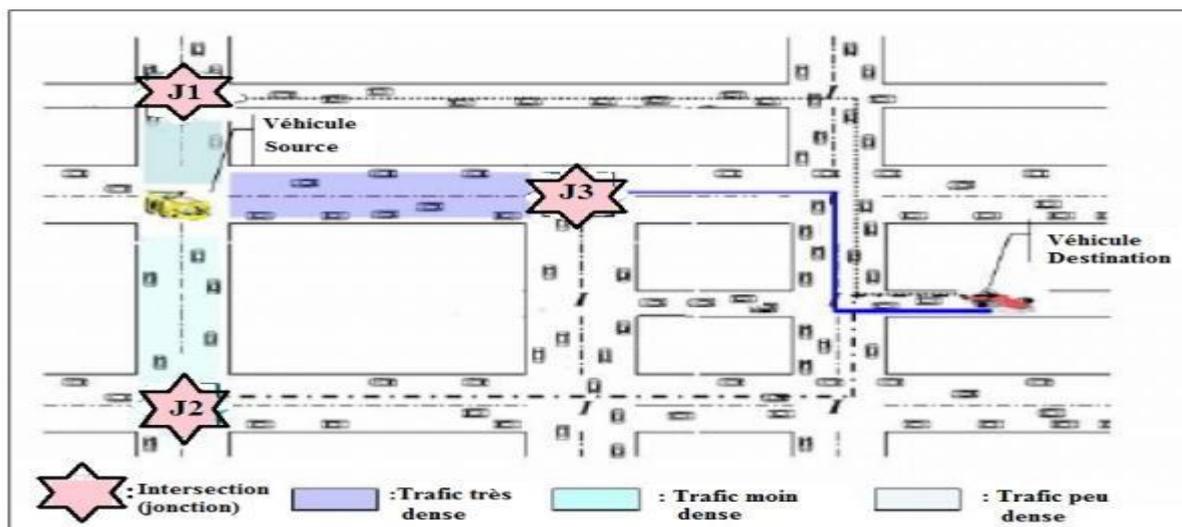


Figure II.17: La sélection des intersections dans GyTAR.

- **Les avantages et les inconvénients [22] :**

Les avantages:

- Pour la topologie à haute mobilité, une fragmentation du réseau est souvent effectuée par GyTAR.

Les inconvénients :

- GyTAR dépend des unités routières (RSUs) qui lui fournissent le nombre de véhicules circulant dans la route.

- ❖ **Le protocole VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery):**

Le protocole de routage VADD est un protocole de routage qui prend en considération le contexte des réseaux de véhicules et exploite le mouvement prévisible des véhicules pour décider de retransmettre ou non le message.

Il utilise particulièrement les informations sur le trafic routier au niveau d'une route pour estimer le délai mis par un paquet pour parcourir un tel segment. Par conséquent, les paquets seront acheminés le long d'un chemin ayant le plus faible délai de bout en bout.

Ce protocole prévoit la mobilité des nœuds en fonction de deux facteurs: le trafic routier et le type de la route, ce qui permet à un nœud de découvrir le prochain nœud de transmission.

Le problème le plus important est de choisir un chemin avec le plus court délai de transmission et c'est pour cette raison que le protocole VADD envoie habituellement le paquet suivant trois grands principes:

- Continuer d'utiliser le canal sans fil disponible.

- Envoyer le paquet au nœud avec la plus grande vitesse dans la voie de transport.
- Comme VANET est un environnement de haute mobilité, il est donc difficile d'estimer la transmission des paquets par un chemin optimal prédéfini, ce qui peut conduire à continuer la découverte d'une nouvelle route optimale pour transmettre un paquet.

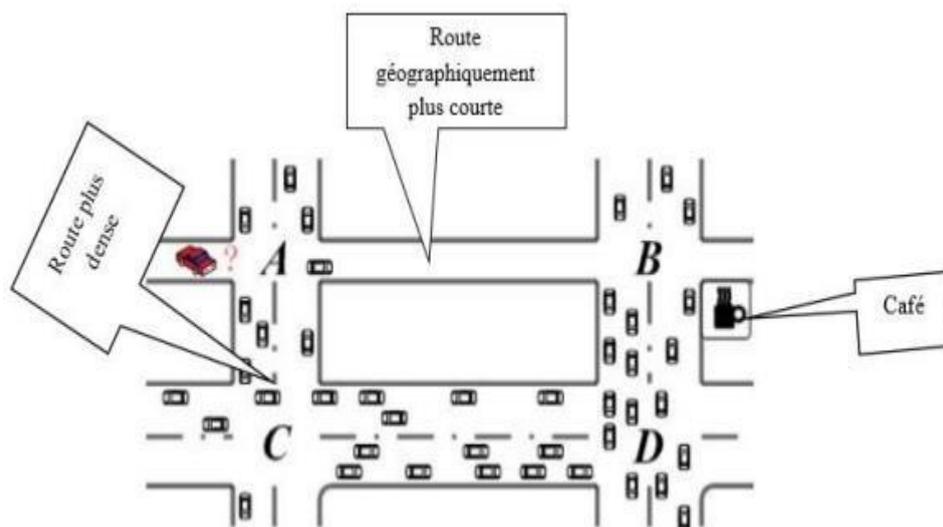


Figure II.18: Mécanisme de routage utilisant le protocole VADD.

Pour éviter la boucle de routage, chaque nœud ajoute des informations sur ses anciens sauts avant de transmettre le paquet, qui contient aussi ses propres sauts : une fois le paquet reçu par un nœud, ce dernier vérifie les informations concernant les sauts précédents pour éviter de les réutiliser et essaye de trouver d'autres sauts disponibles, afin d'éviter le problème de boucle au niveau du routage [10].

II.5.4 Protocoles de routage basés sur le broadcast :

C'est le protocole de routage le plus utilisé dans les VANET, en particulier dans les applications liées à la sécurité.

En mode diffusion, un paquet est envoyé à tous les nœuds (même inconnus ou non spécifiés) du réseau et à son tour, chaque nœud retransmet le message vers d'autres nœuds du réseau [23].

• Les avantages et Inconvénients

Les Avantages :

- Ce protocole a une efficacité élevée sur les autoroutes, car le nombre des véhicules est petit.

- Le critère de fiabilité est satisfait, car le même message sera envoyé par plusieurs nœuds à la destination, donc, le message sera forcément reçu.
- Il est efficace pour minimiser les frais généraux de transmission des messages grâce au mécanisme de diffusion.

Les Inconvénients :

- Ce protocole nécessite une consommation importante de la bande passante du réseau.
- En raison d'inondation du réseau due à la radiodiffusion des messages, un nœud peut recevoir le même message plusieurs fois.

II.5.5 Protocoles de routage basés sur les clusters (groupes) :

Dans ce type de protocole de routage, les véhicules ou les nœuds mobiles qui sont situés à proximité les uns des autres forment un groupe ou (cluster), et dans chaque groupe un CH (Cluster Head) est désigné comme un chef de groupe.

La formation de groupes et la sélection du chef de groupe sont des processus déterminants.

Chaque chef de groupe est responsable de la gestion des nœuds au sein d'un même groupe.

La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupes [24].

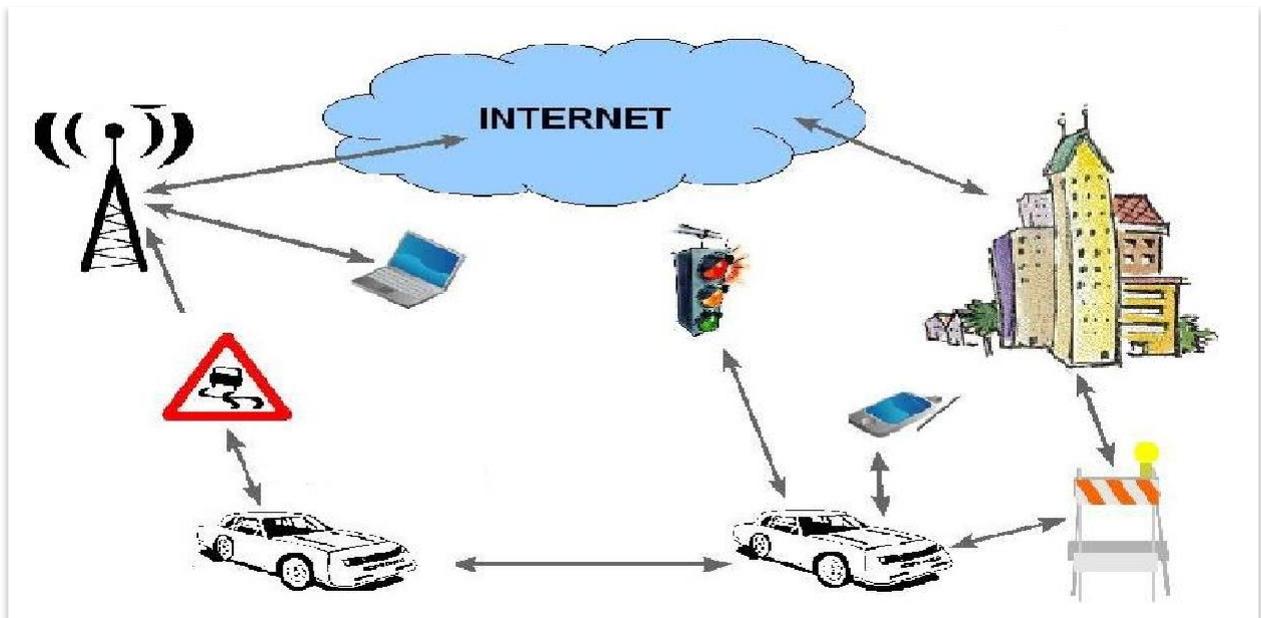


Figure II.19: routage clusters dans VANET.

- **Les avantages et les inconvénients [23]:**

Les Avantages :

- Etant donné que les réseaux VANET sont connus pour leur mobilité très dynamique, la formation des groupes est une solution efficace pour maintenir les liens entre les véhicules.
- La diminution des coûts de transmission des paquets de données.

Les Inconvénients :

- La sélection du CH de cluster est un problème important.

Exemple :

Le Protocole de Routage hiérarchique basé sur le cluster (Hierarchical Cluster Based Routing : HCB) est un protocole conçu pour les réseaux ad hoc très mobiles.

L'architecture de communication à deux couches est utilisée dans HCB. Les nœuds de la 1^{ère} couche ont une interface radio unique et ils communiquent entre eux via le chemin multi-saut. Dans la deuxième couche, les nœuds communiquent entre eux via la station de base.

Son avantage est que le routage intra-cluster est exécuté indépendamment dans chaque cluster et les chefs échangent périodiquement les informations d'appartenance pour effectuer le routage inter-cluster. Néanmoins, son inconvénient est que le nombre de retransmission est élevé à cause de l'augmentation de la perte des paquets [23].

II.5.6 Protocoles de routage géocast :

Protocole de routage géo-caste est un protocole basé sur l'emplacement, qui est utilisé pour envoyer un message à tous les véhicules dans une région géographique prédéfinie.

La zone sélectionnée pour la transmission est appelée Zone de pertinence (Zone Of Relevance : ZOR).

L'idée principale est que le nœud émetteur n'a pas besoin d'envoyer de paquet de données vers les nœuds au-delà du ZOR.

Exemple :

Protocole de routage véhiculaires robuste (Robust Vehicular Routing : ROVER) Un protocole de routage basé sur une multidiffusion géographique, qui a pour but principal d'envoyer un message à tous les autres véhicules dans une zone de pertinence (ZOR) spécifiée.

Dans ce protocole, les paquets de contrôle sont diffusés dans le réseau et les paquets de données sont uniques.

Les avantages et Inconvénients [23]:

Les Avantages :

- Ces protocoles réduisent la quantité de surcharge et la congestion du réseau lorsque les paquets sont inondés.
- Ces protocoles ont un débit de paquets plus au moins élevé.

Les Inconvénients :

- La livraison de paquets à tous les nœuds dans un ZOR est une tâche très difficile.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux parties importantes. Dans la première partie nous avons décrit les réseaux véhiculaires, leurs architectures et modes de communication ainsi que leurs caractéristiques et leurs domaines d'applications. Ensuite, nous avons cité les avantages et inconvénients de ce type de réseaux.

Dans la deuxième partie, nous avons détaillé les protocoles de routage adaptés aux réseaux VANETs. En effet, il existe cinq type de routage VANET : les protocoles basés sur la topologie, les protocoles basés sur la localisation qui utilisent la position géographique des nœuds mobiles, les protocoles basés sur les clusters, les protocoles basés sur le mode de diffusion Géocast, et les protocoles basés sur le mode de diffusion broadcast.

De plus, nous avons évoqué les protocoles de routage les plus adaptés aux réseaux VANETs, plus particulièrement ceux basés sur la localisation géographique.

Chapitre **III**

Partie Simulation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons exposer les différents outils et bibliothèques utilisés dans notre implémentation. Ensuite, nous allons présenter notre scénario de simulation, à savoir ; un scénario d'accident permettant d'apercevoir la communication entre véhicules d'une part et de visualiser leur comportement d'une autre part.

Pour ce faire, la simulation est considérée comme l'outil le plus pratique pour mettre en œuvre un réseau VANET.

III.2 Outils d'implémentation et de simulation :

III.2.1 Environnement matériel :

Notre projet a été réalisé en utilisant un ordinateur « DELL » dont la configuration est décrite à travers le tableau suivant :

Processeur	I3
Mémoire vive(RAM)	2 GO DDR3 L
Disque dur (stockage)	500GB HDD
Carte graphique	Intel HD Graphies 5500
Système d'exploitation	Windows 10(64bits)

Tableau III.1 : matériel utilisé.

III.2.2 environnement logiciel :

Simulateurs utilisés :

Dans la simulation de VANET, nous distinguons deux types de simulateur :

Le simulateur de trafic et le simulateur de réseaux.

- **Simulateur de trafic** : utilisé pour la réalisation de la carte du réseau routier et la génération du trafic routier souhaité (type de véhicules, vitesse, événements de la route, etc.).
- **Le simulateur des réseaux** :

Chargé d'assurer la communication entre véhicules, de garantir leur circulation d'un point de départ vers un point d'arrivée, et d'évaluer aussi les performances des protocoles exploités. Autrement dit, il est censé fournir tous les différents services réseautiques.

III.2.2.1 Le Simulateur OMNET++ :

OMNET est un environnement de simulation d'événements discrets. Son principal domaine d'application est la simulation de réseaux de communication. Mais du fait de son architecture générale et flexible, il est utilisé avec succès dans d'autres domaines tels que la simulation de systèmes informatiques complexes, de files d'attente réseau ou d'architectures matérielles [11].

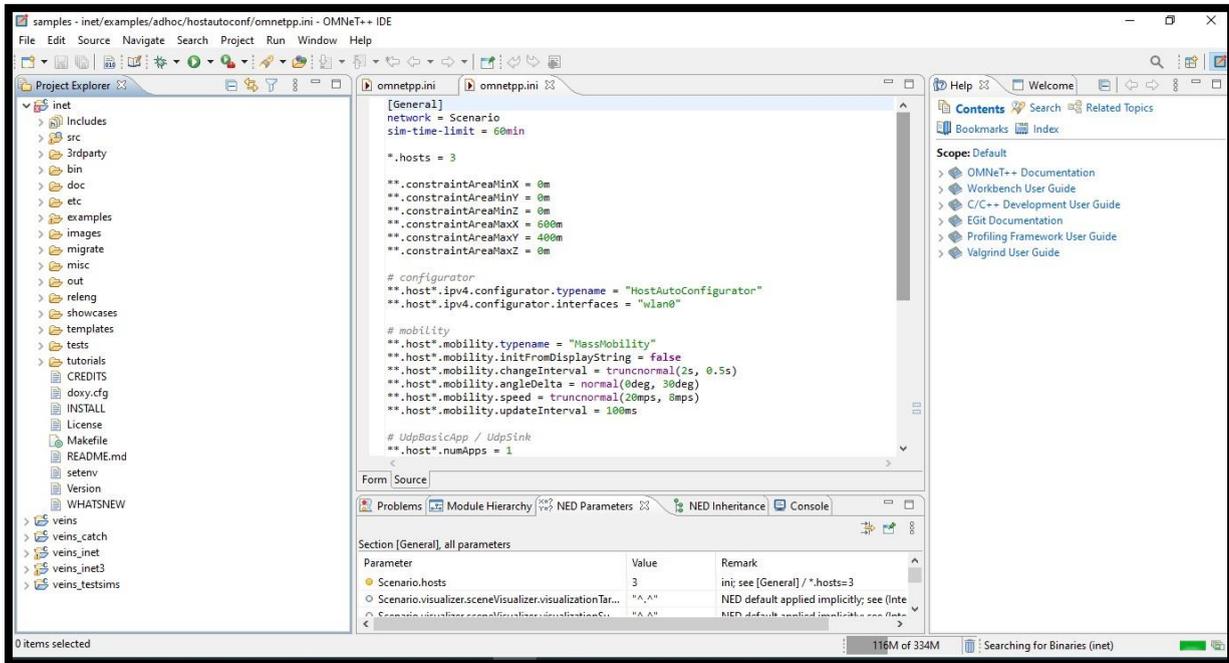


Figure III.1 : interface de simulateur OMNET++

III.2.2.2 Le simulateur de trafic routier :

SUMO (Simulation of Urban Mobility) est un progiciel de simulations de trafic routier open source sous licence OPL, dont le développement a commencé en 2002. L'objectif des développeurs est de mettre à la disposition du monde académique un outil leur permettant de modéliser le réseau routier aussi bien en milieu urbain qu'environnement autoroutier. Le progiciel SUMO contient une suite d'applications qui aident à préparer et à exécuter la simulation d'un scénario de trafic routier [19].

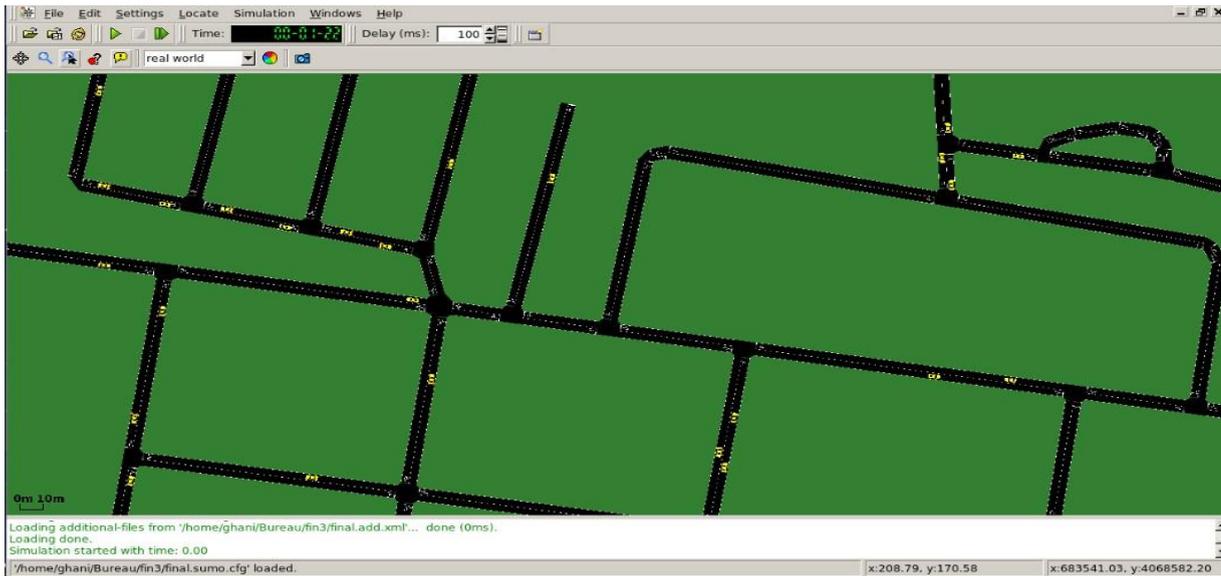


Figure III.2: Interface SUMO

III.2.2.3 OpenStreetMap (OSM):

OSM est un projet international fondé en 2004 dans le but de créer une carte libre du monde. Cette carte collecte des données dans le monde entier sur les routes, voies ferrées, les rivières, les forêts et les bâtiments. Un utilisateur d’OSM peut exporter une zone de cette carte (sous fichier.osm) pour l’utiliser et l’intégrer dans d’autres applications et simulateurs [28].

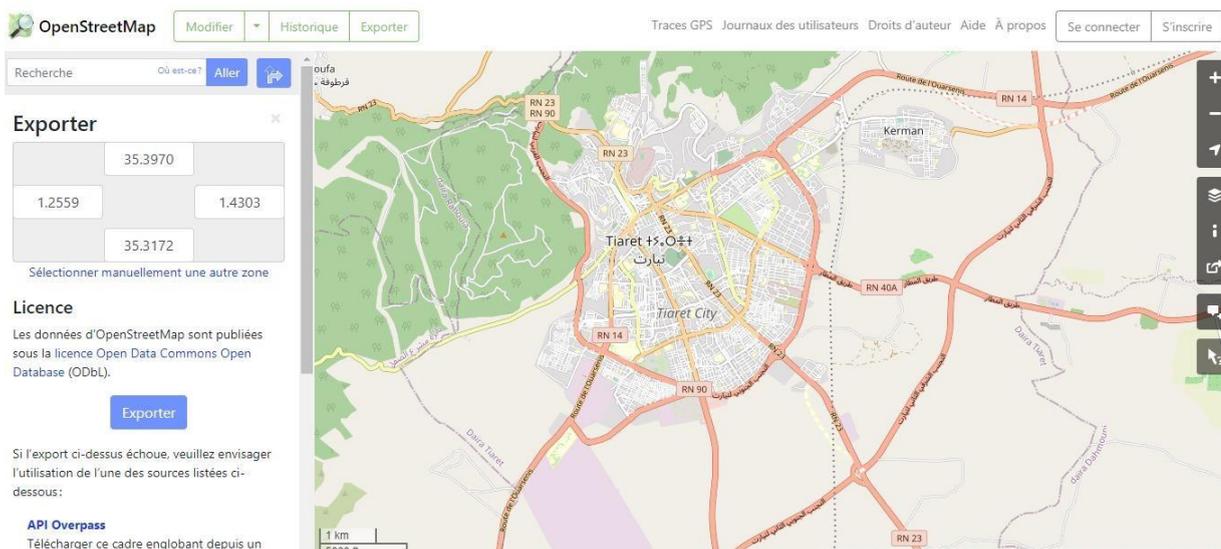


Figure III.3: la ville de Tiaret dans Openstreetmap.

III.2.2.4 GatComSUMO :

Est une application multiplateforme qui facilite la construction de simulations VANET à l'aide du simulateur de trafic SUMO et du simulateur de réseau OMNET++. Les tâches liées à la génération de scénarios abstraits ou synthétiques, le téléchargement et la conversion de scénarios de réseau basés sur des cartes réelles (par exemple à partir d'OpenStreetMap), le processus de création d'itinéraires et la modélisation de la mobilité des véhicules sont intégrés dans une interface graphique conviviale. Cet outil effectue les actions nécessaires en appelant l'ensemble des utilitaires inclus dans SUMO, évitant à l'utilisateur de taper des commandes complexes en ligne de commande.

GatComSUMO visualise facilement le réseau et les routes, et ils sont créés de manière à répondre aux exigences des simulateurs impliqués, en particulier OMNET++, afin d'éviter les malentendus et les erreurs d'exécution. L'application permet la conversion des coordonnées spatiales utilisées par SUMO en celles utilisées par OMNET++, ce qui est essentiel pour placer des éléments fixes comme les RSU [27].

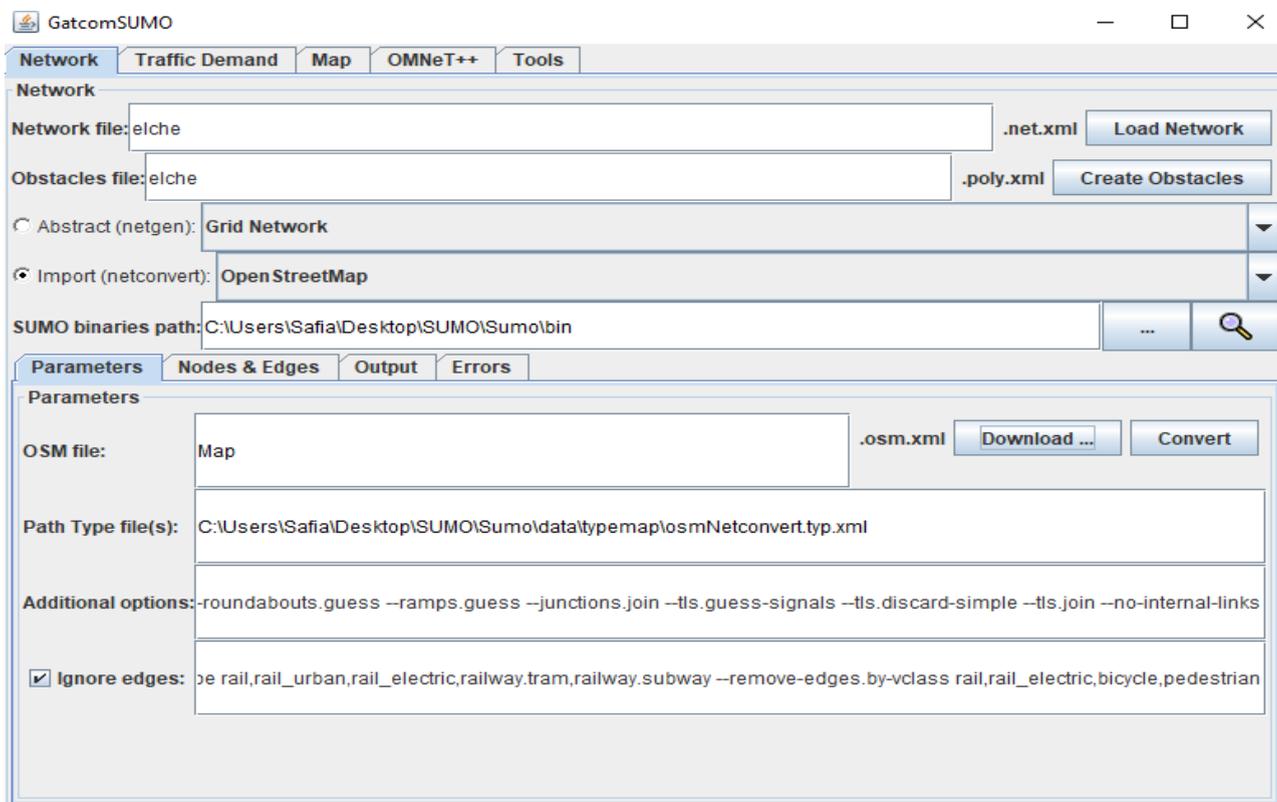


Figure III.4 : interface GatComSUMO.

III.3 Bibliothèques exploitées :

III.3.1 INET Framework

C'est un modèle de bibliothèques open-source pour l'environnement de simulation d'Omnet. Il fournit des protocoles, des agents et d'autres modèles pour les chercheurs et les étudiants qui travaillent avec les réseaux de communication. INET est particulièrement utile lors de la conception et la validation de nouveaux protocoles, ou d'explorer de nouveaux scénarios ou exotiques [1].

III.3.2 VEINS Framework :

VEINS (Vehicles in Network Simulation) est un Framework de simulation véhiculaire open source qui sert de pont entre le SUMO et l'OMNET++. Il permet également la mise en place, le fonctionnement et la surveillance de la simulation. Ce Framework supervise la modélisation des détails du protocole, la mobilité des nœuds, et la collecte des résultats pendant et après la simulation. VEINS contient des modèles de simulation qui servent de boîte à outils à la mise en œuvre de simulation complète et hautement détaillée. Il permet également de laisser exécuter les deux simulateurs OMNET++ et SUMO en parallèle, en les connectant l'un à l'autre via une prise TCP. Le protocole de cette communication permet une simulation bidirectionnelle reliant le trafic de route au réseau du trafic [26].

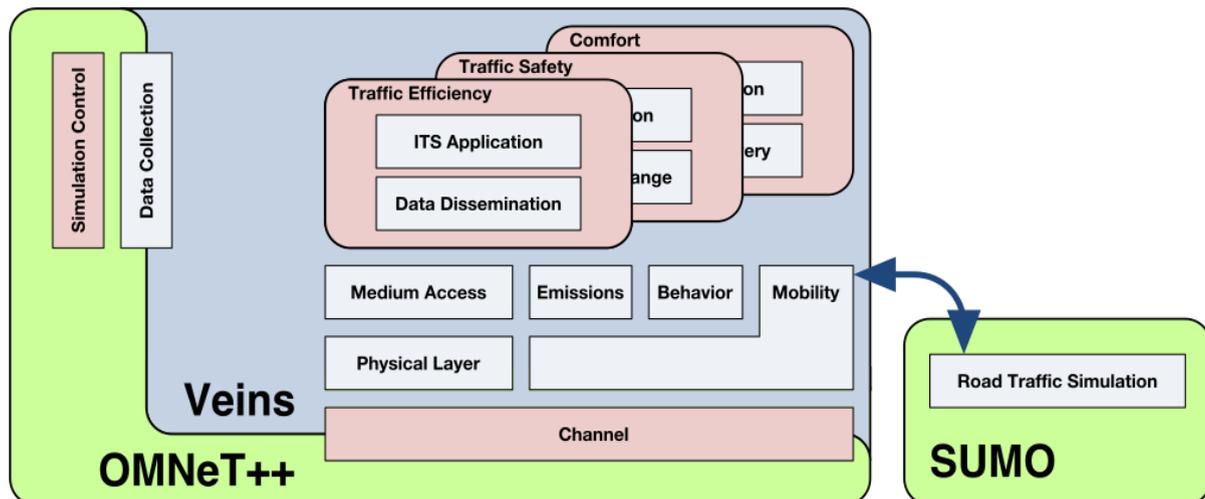


Figure III.5: Architecture de Veins Framework

III.4 Paramètres de simulation :

Avant de commencer les tests, nous allons présenter les paramètres de simulation que nous avons utilisés :

Simulateur	Omnet++
Communication	Broadcast
Temps de simulation	200s
Nombre des nœuds	30
Zone de trafic	Urbaine (ville de Tiaret)

Tableau III.2 : paramètres de simulation.

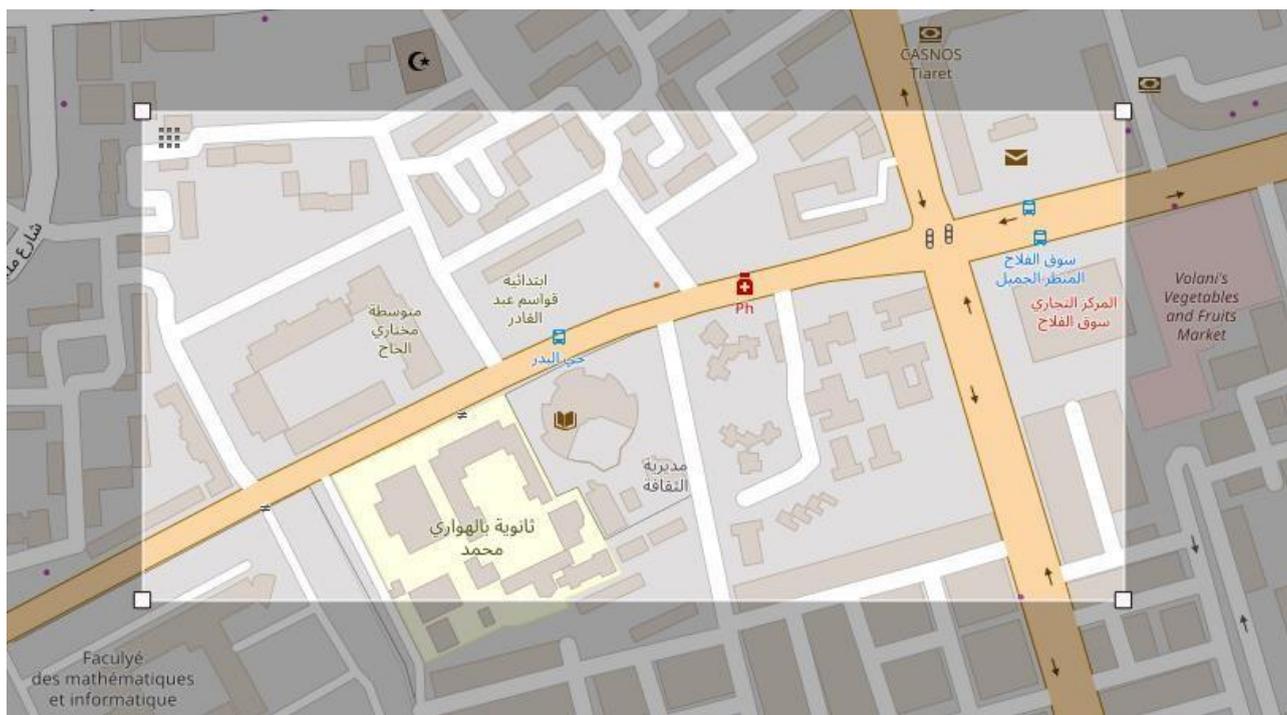


Figure III.6 : zone urbaine de simulation.

III.5 Résultats de simulation :

À la 55^{ème} seconde, le véhicule 6 est impliquée dans un accident et diffuse un message d'alerte à tous les véhicules voisins en mode broadcast.

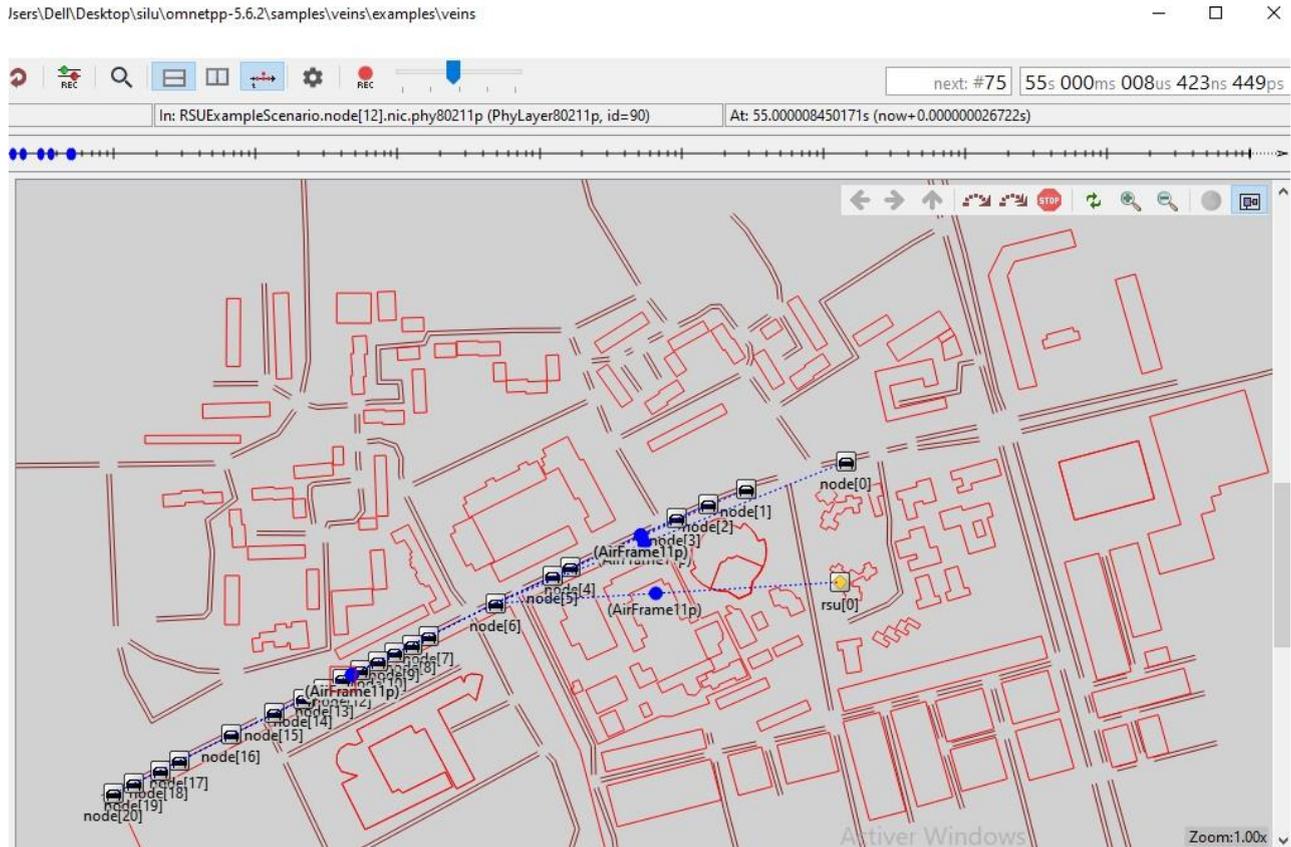


Figure III.7: Diffusion d'un message d'alerte par le nœud 6.

Les véhicules recevant le message d'alerte deviennent rouges et changent en conséquence leur chemin pour s'échapper du goulot d'étranglement créée par le véhicule 6.

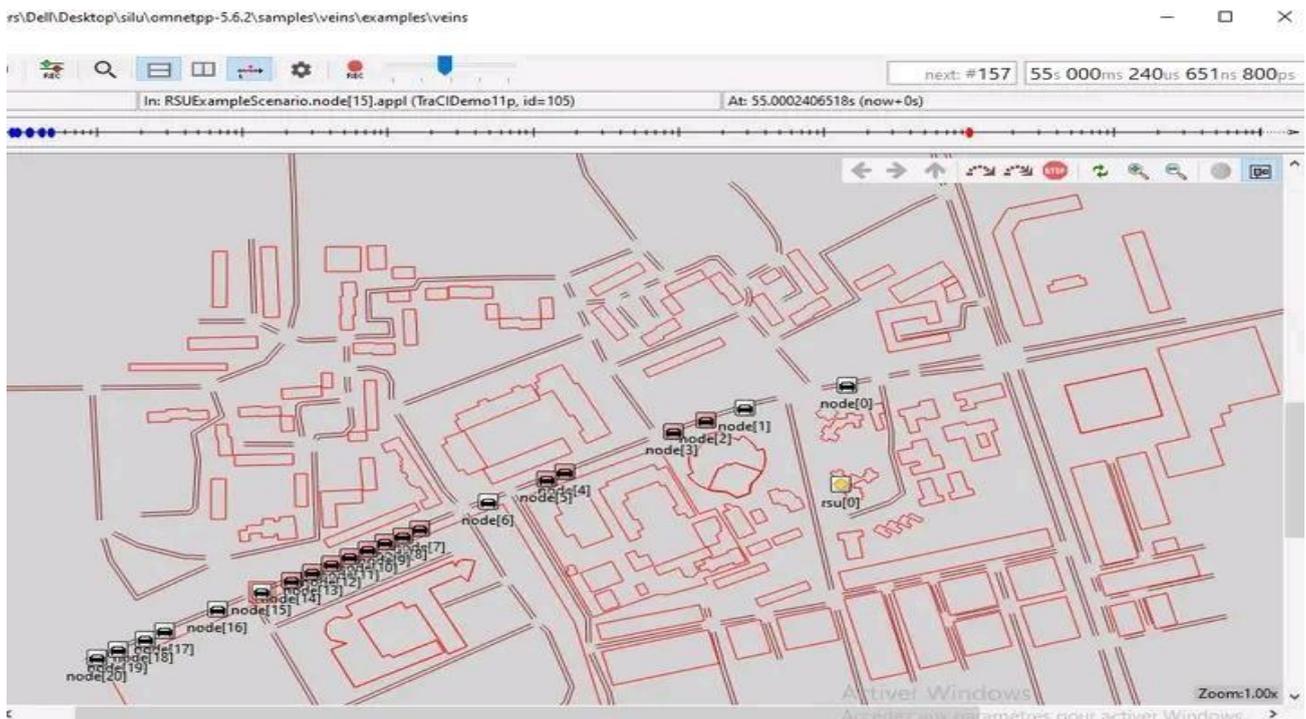


Figure III.8 : Les véhicules voisins deviennent rouges.

Après les véhicules voisins changent leur itinéraire

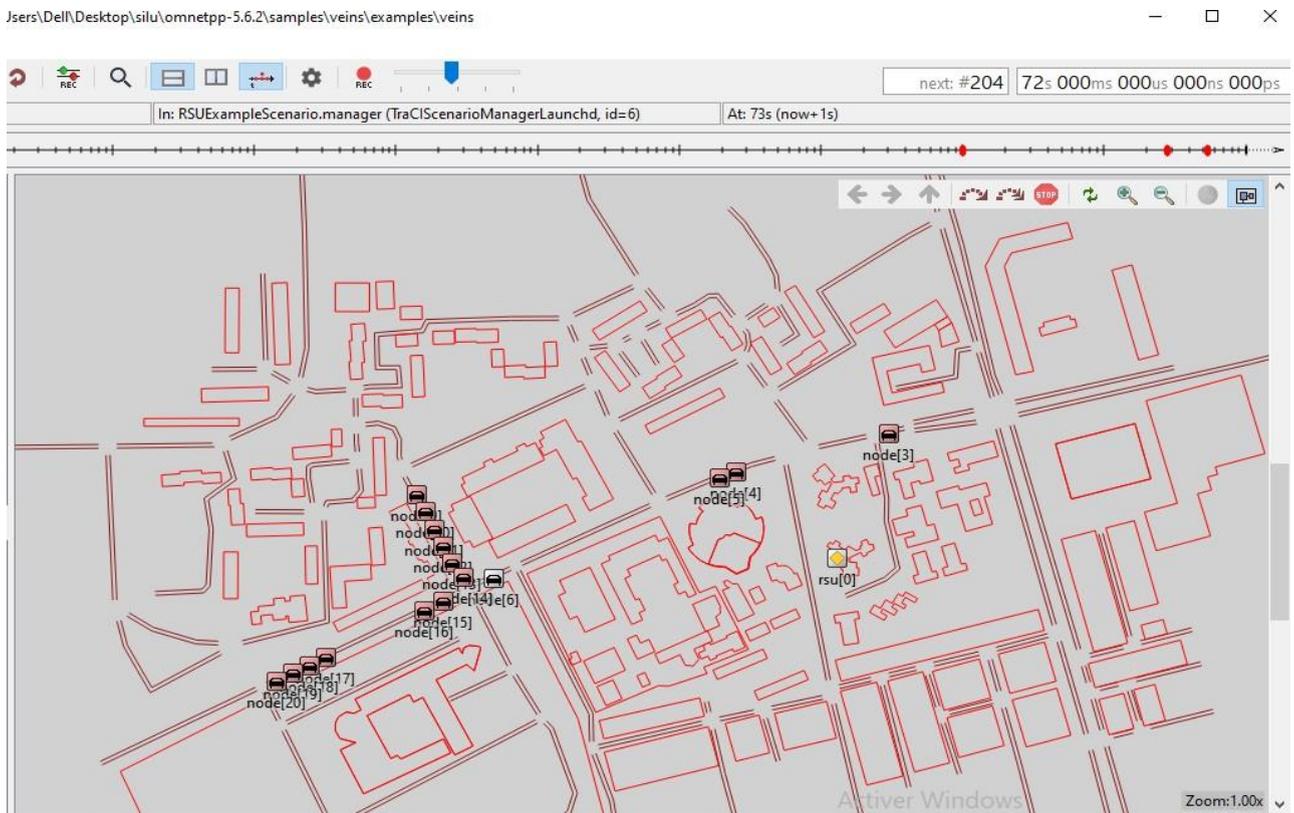


Figure III.9 : les véhicules voisins changent leur itinéraire.

Après la disparition de l'accident, les véhicules voisins reviennent à leur chemin initial.

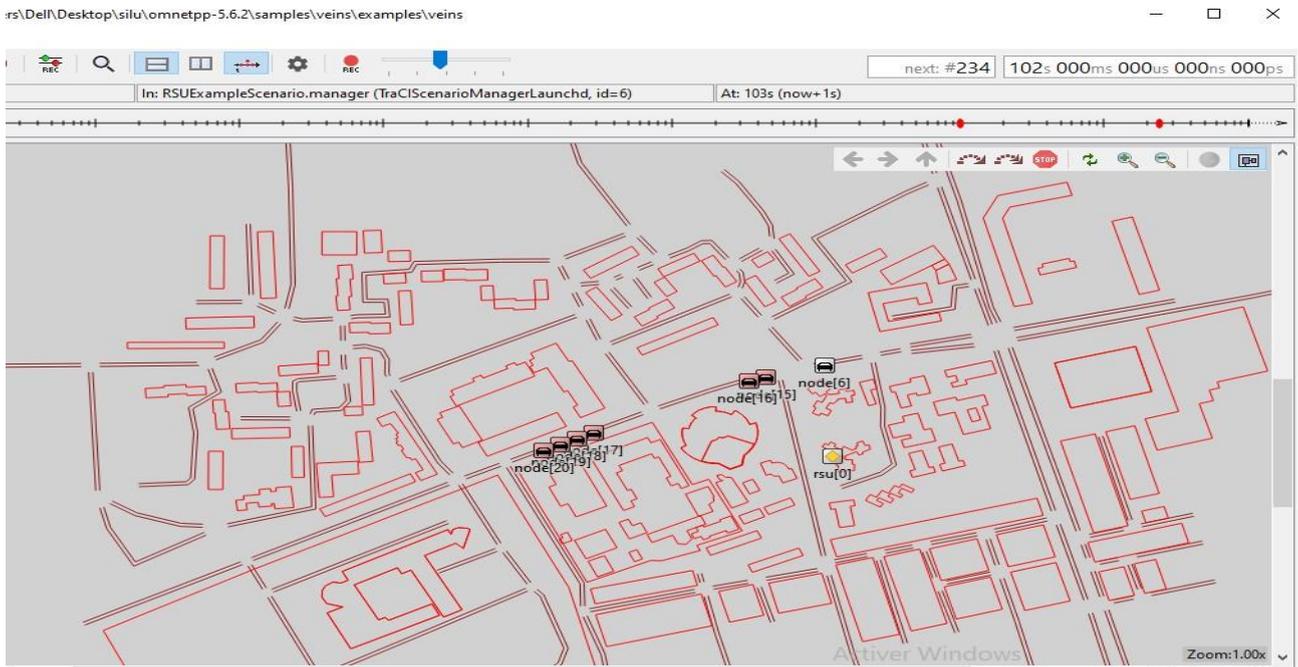


Figure III.10 : les véhicules voisins reviennent à leur chemin initial.

III.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les différents outils et bibliothèques utilisés dans notre simulation.

En effet, nous avons simulé un réseau VANET sur un milieu urbain de la ville Tiaret. De plus, nous avons créé un problème d'encombrement sur une route afin d'apercevoir le comportement des véhicules en terme de communication et de réaction. Ainsi, à l'aide des messages d'alerte diffusé en mode broadcast, les véhicules voisins ont pu modifier leur itinéraire et éviter par conséquent une éventuelle circulation.

Conclusion générale et Perspectives

Le développement des nouvelles technologies sans fil a alimenté la formidable croissance des réseaux véhiculaires. Ce développement a permis de rendre les réseaux VANET plus fiables et plus efficaces.

Le but de notre travail est de simuler un réseau VANET sur un milieu urbain de la ville de Tiaret. Nous avons également déclenché un accident sur une route afin d'apercevoir le comportement des véhicules en termes de communication et de réaction.

À travers notre exemple de simulation, nous pouvons signaler que la technologie VANET pourrait contribuer à gérer efficacement le trafic routier et résoudre intelligemment les problèmes de circulation routière.

Comme perspectives, nous proposons d'enrichir notre simulation par les points suivants :

- Provoquer d'autres points d'encombrement pour découvrir le comportement des véhicules et son impact sur la circulation routière globale.
- Utiliser une autre technique de communication à la place de la diffusion générale (Broadcast) en adoptant, par exemple, un protocole de routage basé sur la topologie.
- Sécuriser les communications entre véhicules afin de rendre le réseau plus confidentiel et plus performant.
- Simuler les communications entre véhicules et routes pour rendre le réseau plus interactif et plus efficace.

Préparation de l'Environnement de simulation:

La préparation de l'environnement d'implémentation consiste à :

1- installer le simulateur de réseau OMNET ++ sous le système d'exploitation Windows Nous avons utilisé la version OMNET++ 5.6.2. L'installation s'effectue en étapes :

-Télécharger le code source OMNET++ de <http://omnetpp.org>. Assurez-vous que vous sélectionnez l'archive spécifique à Windows, nommé omnetpp-4.4-src-windows.zip.

- Extraire le fichier zip et sélectionnez Extraire tout dans le menu et On choisit :

```
mingwenv.cmd
```

Entrez le code:

```
./configure
```

Suivie par le code :

```
Make
```

Et en fin :

```
Omnetpp
```

2- Télécharger le code source SUMO 1.8.0 à partir du lien <https://www.eclipse.org/sumo/> , et extraire le fichier zip.

3- Télécharger le code source Veins 5.2 à partir du <https://veins.car2x.org/>, et Extraire le fichier zip.

4- Télécharger le code source inet 4.2 à partir du lien <http://github.com/inet-framework/inet/releases/download/v4.4.0/inet-4.4.0-src.tgz> , et extraire le fichier zip.

5- importer les deux fichiers VEINS et INET dans le simulateur OMNET++.

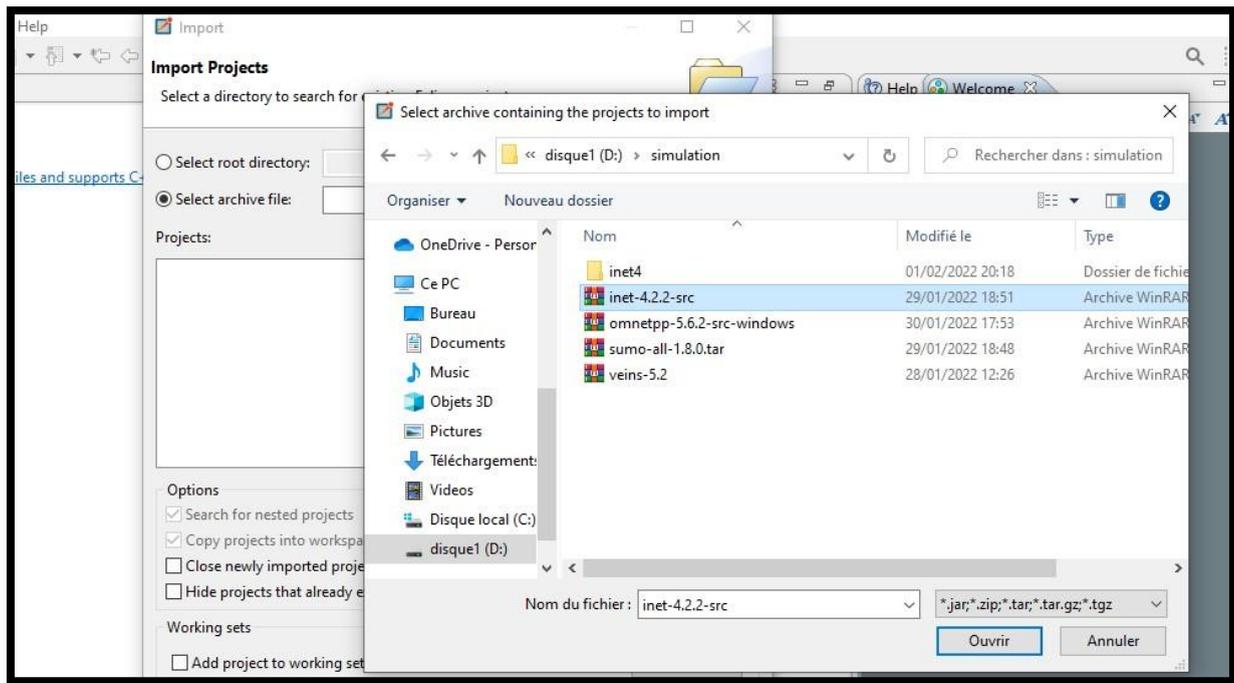


Figure 1: import de bibliothèques.

Les étapes de simulation :

Etape 1 :

En télécharger GatComSUMO à partir du lien <https://sourceforge.net/projects/gatcomsumo/> et extraire le fichier zip.

 Projecto NetBeans	2018-04-18 12:13	Dossier de fichiers	
 GatcomSUMO-src-1.04	2022-05-17 12:09	Dossier compressé	979 Ko

Projecto NetBeans → dist → GatComSUMO

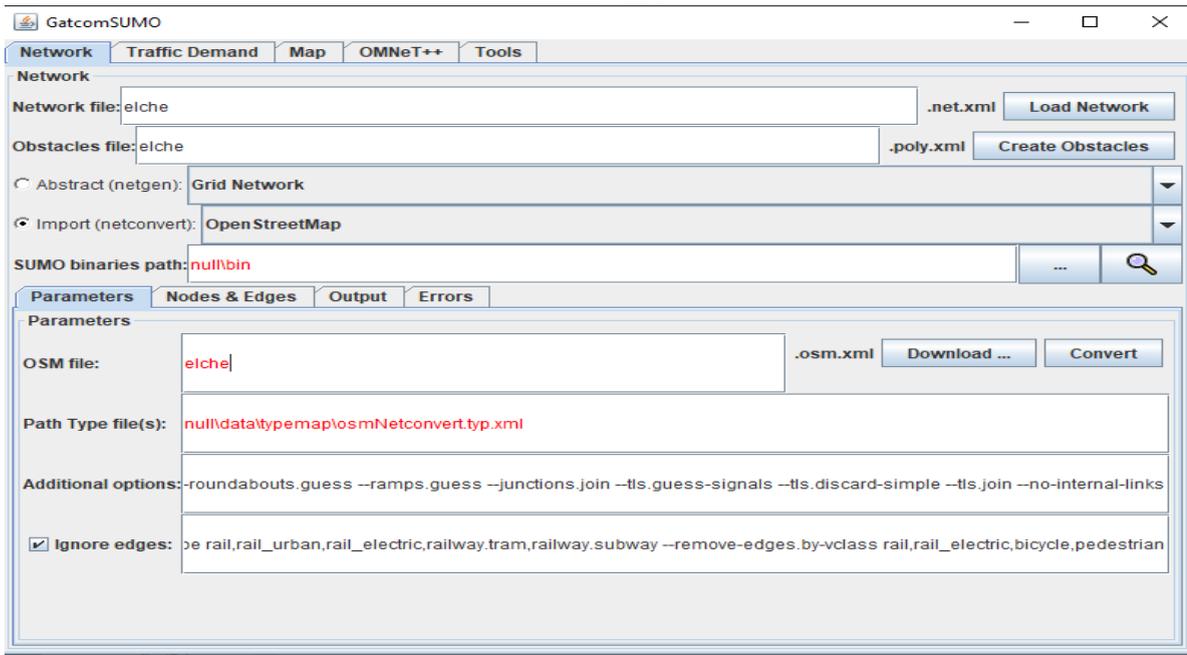


Figure 2 : interface de GatComSUMO.

Remplissez les informations : path sumo, OSM file, Cliquez ensuite avec le bouton download
 En même temps, Nous importons une partie de la carte géographique d'une zone urbaine de notre ville "Tiaret" depuis OpenStreetMap...etc.
 Cette fenêtre apparaît :

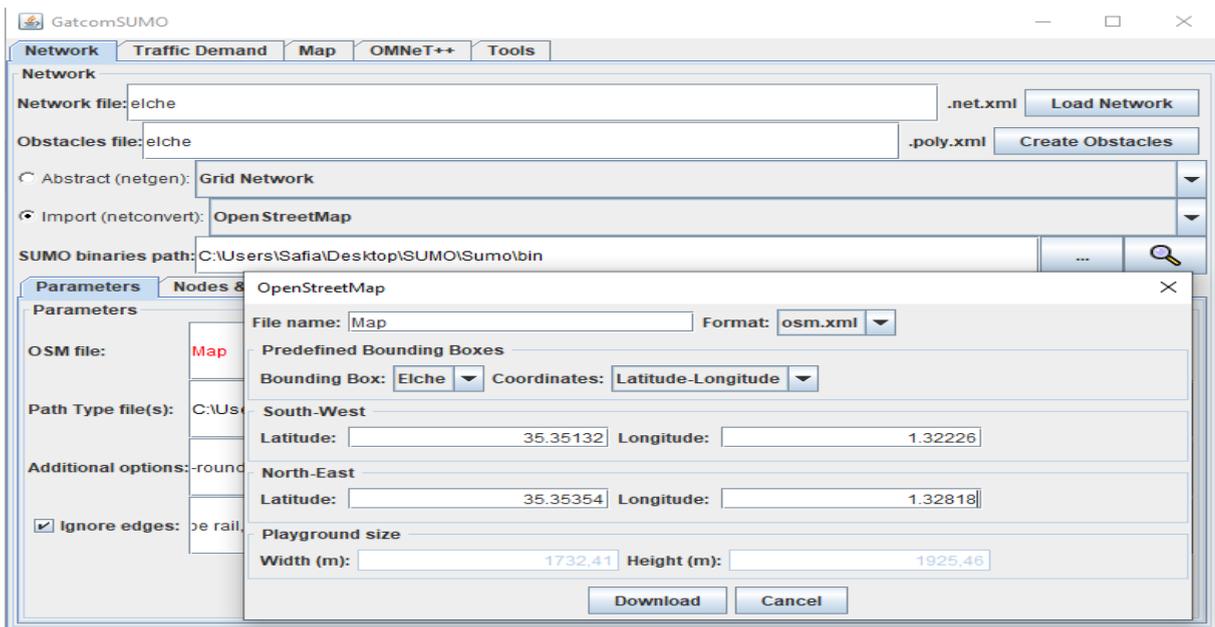


Figure 3 : download Dimensions de la zone " Tiaret ".

Clique sur le bouton convert, En suite en clique sur le bouton crée obstacles :

 GatcomSUMO	2018-04-18 12:01	Executable Jar File	355 Ko
 Map.con	2022-05-28 0:37	Document XML	18 Ko
 Map.edg	2022-05-28 0:37	Document XML	23 Ko
 Map.net	2022-05-28 0:37	Document XML	91 Ko
 Map.nod	2022-05-28 0:37	Document XML	5 Ko
 Map.osm	2022-05-28 0:35	Document XML	219 Ko
 Map.poly	2022-05-28 0:50	Document XML	21 Ko
 Map.tll	2022-05-28 0:37	Document XML	6 Ko
 Map.typ	2022-05-28 0:37	Document XML	6 Ko
 Map_bbox	2022-05-28 0:35	Document texte	1 Ko

Création du route et véhicule sur GatComSUMO

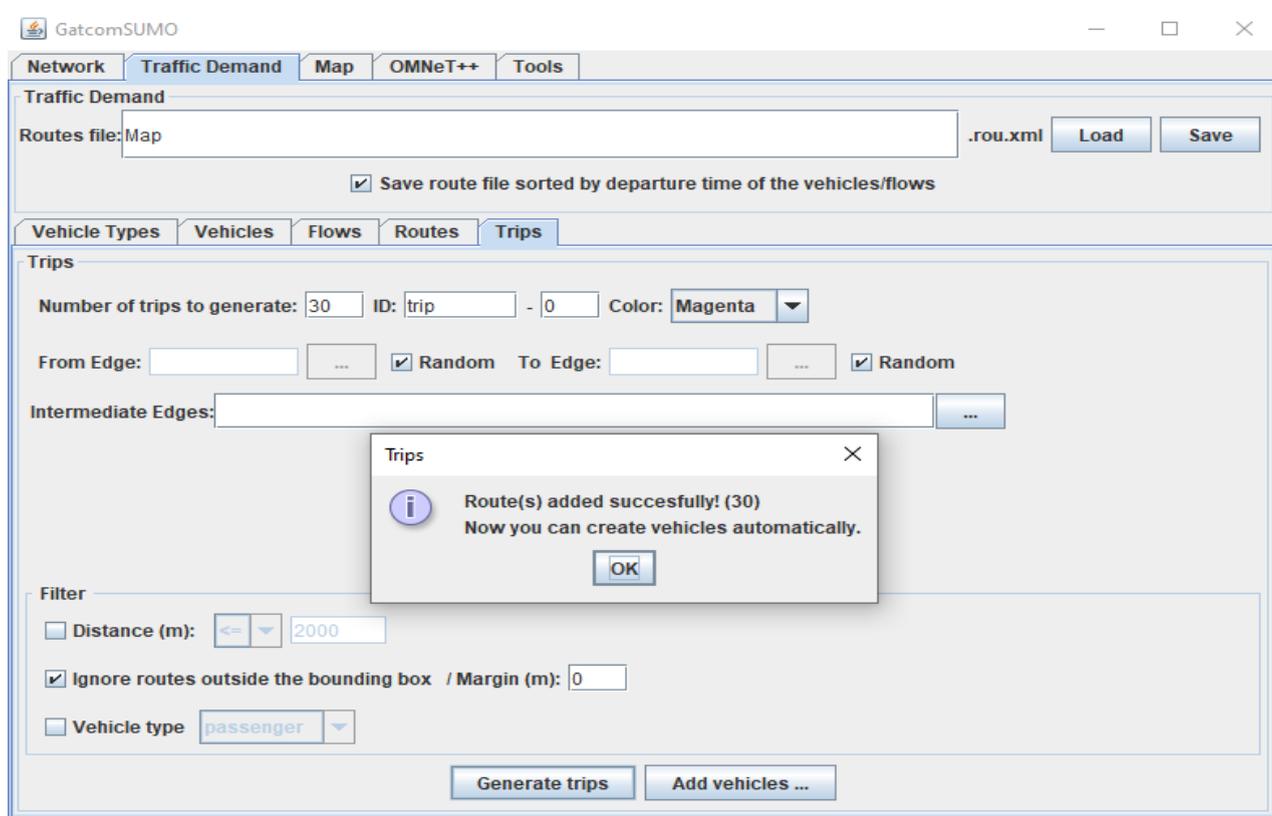


Figure 4 : création des routes et véhicules.

Copier six file sur liens en Omnet++ :

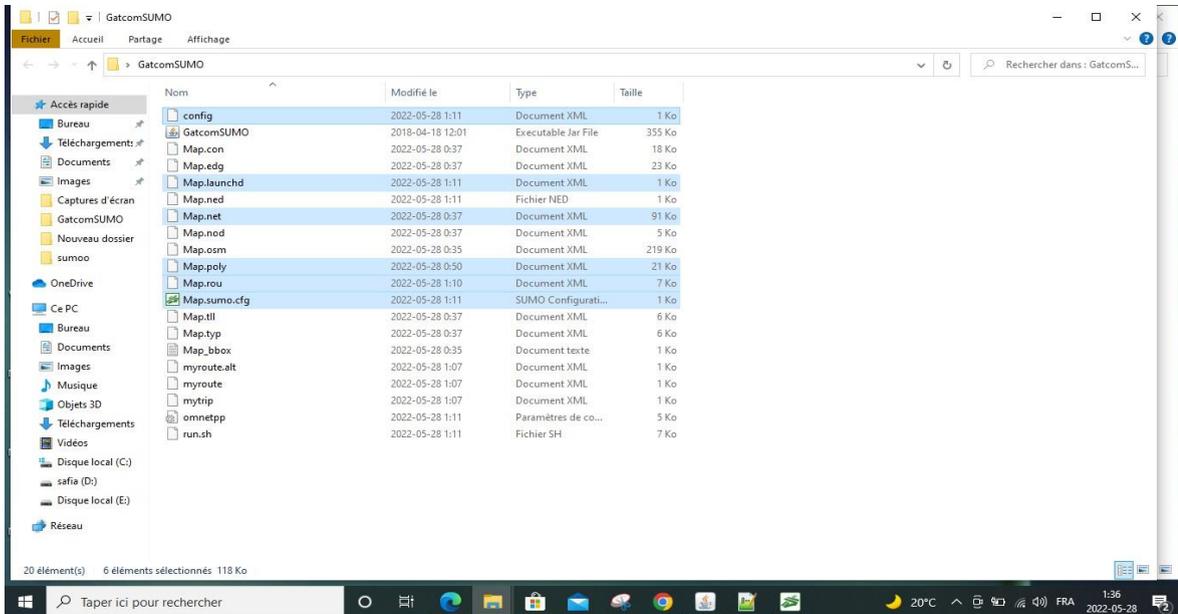


Figure 5 : les files qui copier.

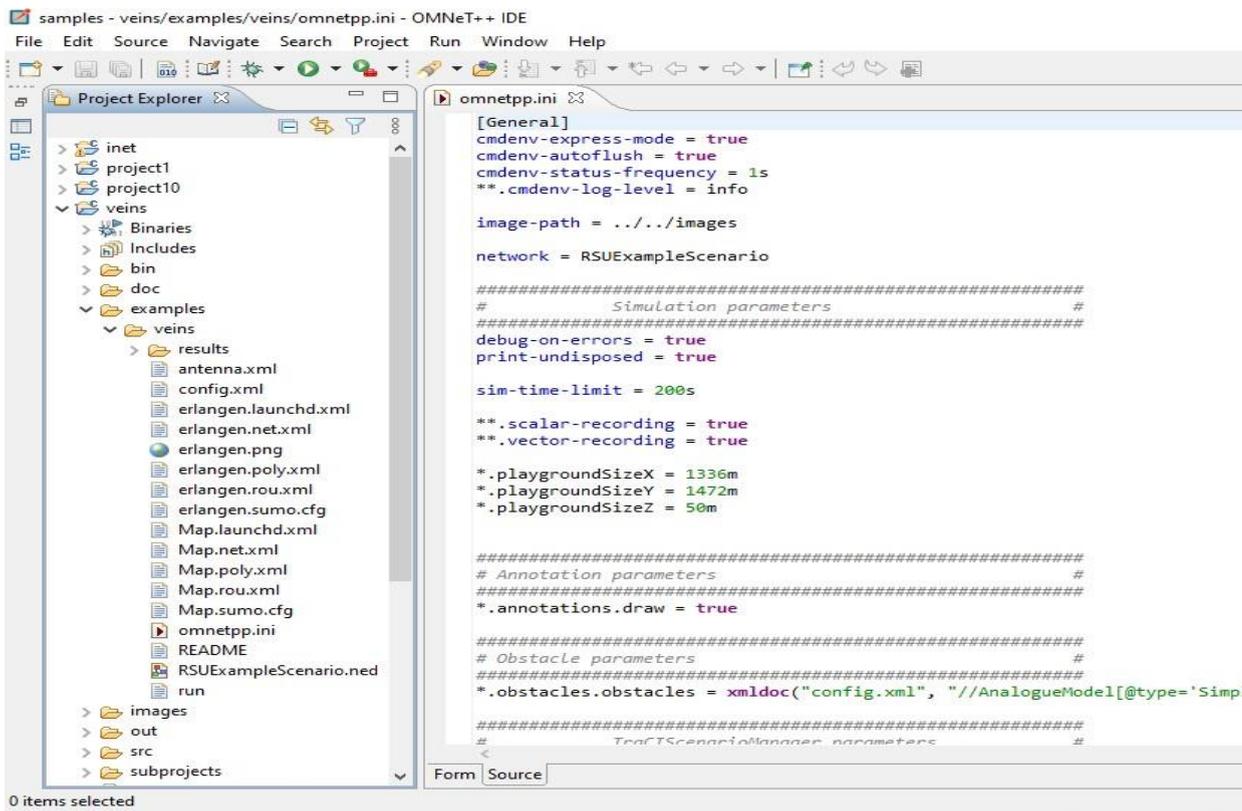


Figure 6 : interface de l'exécution.

Étape 2 :

Lancement de la simulation :

Avant de lancer la simulation, il est recommandé de nettoyer les variables locales de Veins. Ainsi, dans l'espace de travail OMNET ++, avec le bouton droit de la souris sur cliquez sur : clean local -> clean project -> build project.

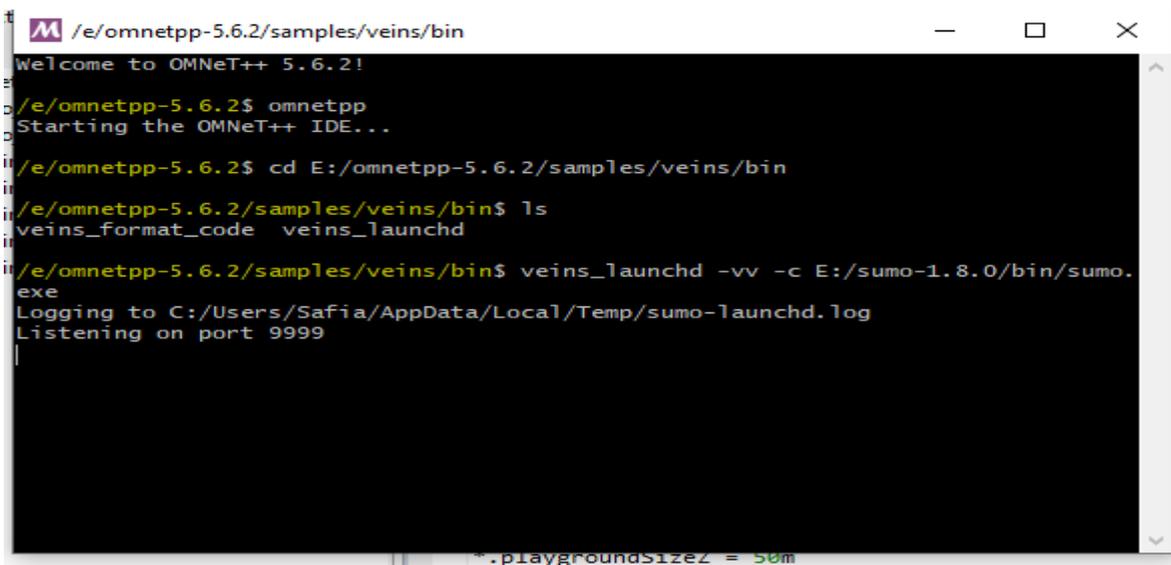
Pour pouvoir procéder à la simulation on doit exécuter SUMO et OMNET++ à la fois, c'est pour ça que VEINS est livré avec un petit script python qui fait une connexion TCP proxy entre OMNET ++ et SUMO. Pour le faire, ce script commence une nouvelle copie de la simulation de SUMO pour la simulation de chaque Omnet connexion. Ainsi, dans l'invité de commande on tape la commande suivante :

```
Cd E:/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin
```

Peu

```
Veins-launchd -vv -c E:/sumo-1.8.0/bin/sumo.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 :



```
/e/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin
Welcome to OMNeT++ 5.6.2!
/e/omnetpp-5.6.2$ omnetpp
Starting the OMNeT++ IDE...
/e/omnetpp-5.6.2$ cd E:/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin
/e/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin$ ls
veins_format_code  veins_launchd
/e/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin$ veins_launchd -vv -c E:/sumo-1.8.0/bin/sumo.exe
Logging to C:/Users/Safia/AppData/Local/Temp/sumo-launchd.log
Listening on port 9999
```

Figure 7 : 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

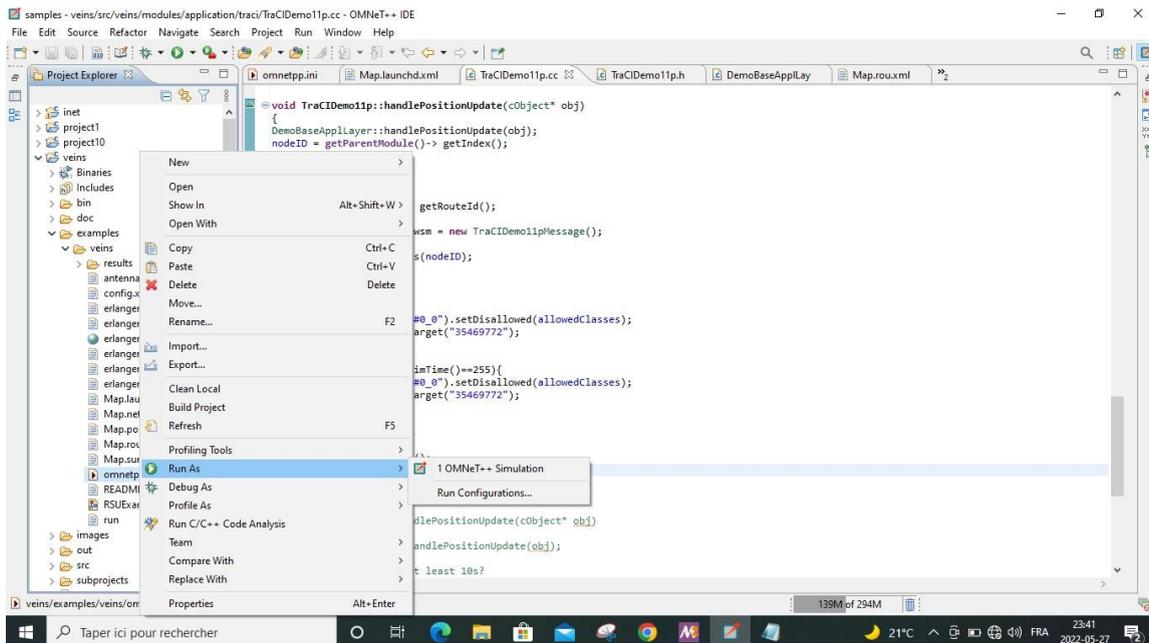


Figure 8 : Exécution omnetpp.ini

Ensuite, on sélectionne une méthode de diffusion des messages, dans ce cas « *Flooding* », puis on clique sur OK, comme illustré à la Figure

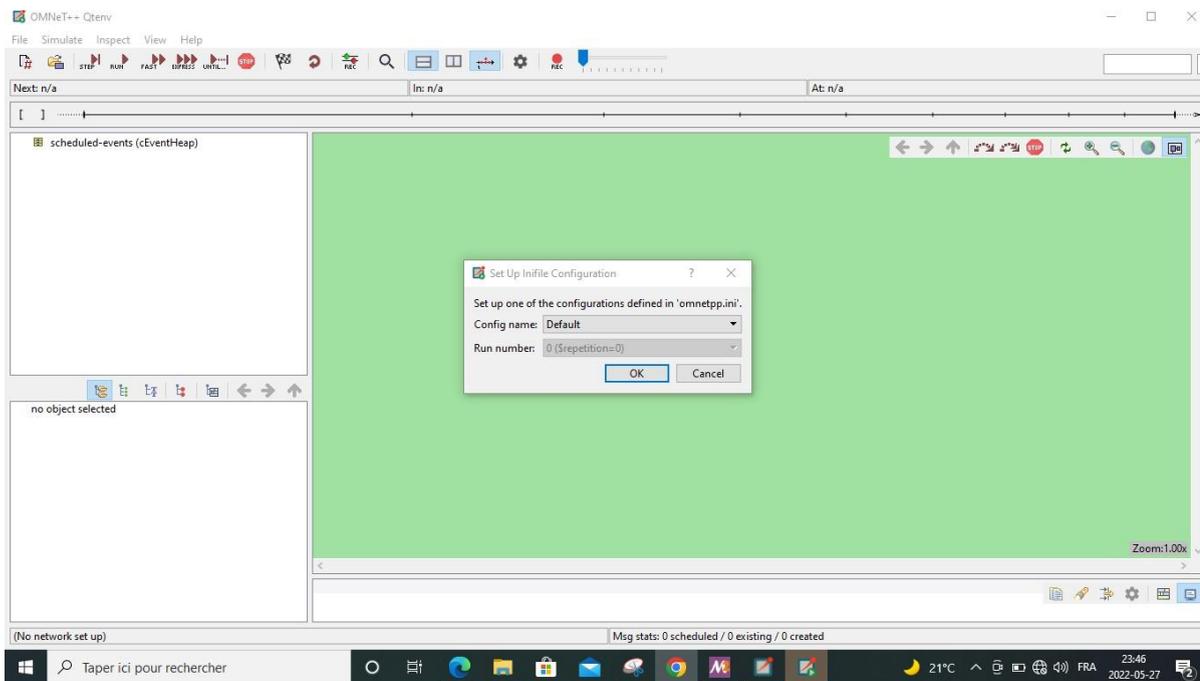


Figure 9: Fenêtre de la simulation d'OMNET++

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

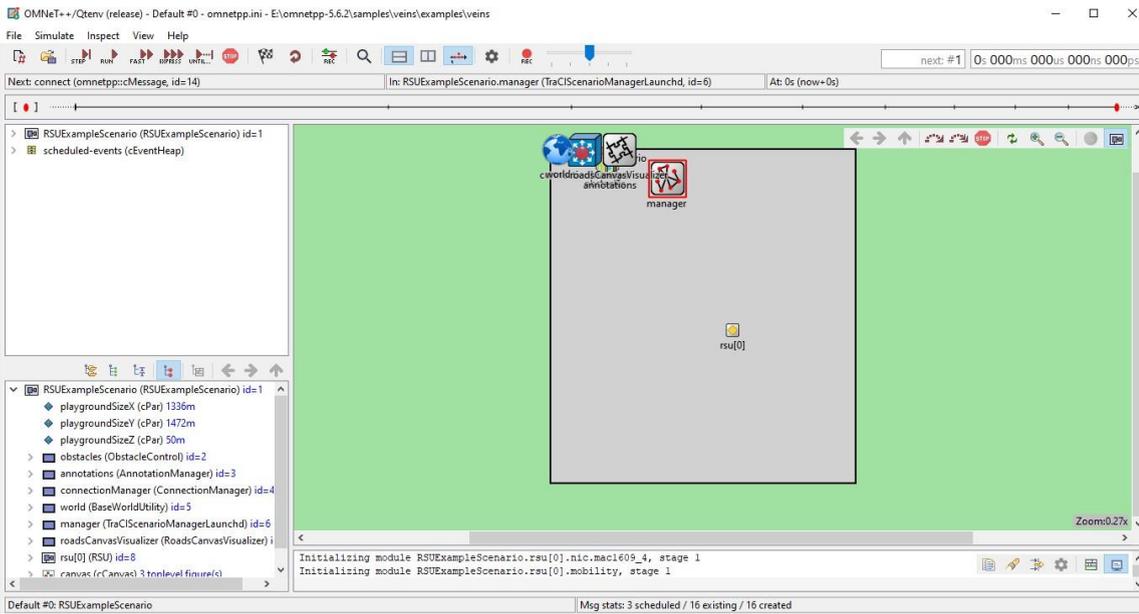


Figure 10 : Fenêtre de la simulation de SUMO

Bibliographie

- [1] Abderrahmane BENYETTOU « **Conception et intégration d'une solution distribuée pour collecter les informations de trafic routier afin d'améliorer les performances du protocole de routage A-RTIP** » Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2018-2019.
- [2] Ahizoune Ahmed «**Un protocole de diffusion des messages dans les réseaux véhiculaires** »Université de Montréal, 2011.
- [3] Mehdi Haddad, Robleh WAIS « **sécurité dans les réseaux ad hoc** » Université Lyon1.
- [4] Mirar Youcef, Djettou Brahim Khalil « **Étude des Réseaux Ad hoc par la Théorie des Jeux** » UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ-BOUIR, 2018-2019.
- [5] BERRABAH Abdelkrim « **Balancement de charges dans les réseaux Ad Hoc** ». Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, 2013.
- [6] kettouche feriel, Laroche hasnie « **protocole de routage multi-chemins EAOMDV avec consommation d'énergie dans les réseaux sans fil ad hoc** ». Université Mostaganem, 2013.
- [7] Amir Abdelkader aouiz « **qualité de service dans les protocoles multi-chemins** » Université sidi Be labbes, 2019-2020.
- [8] Tahar Abbes Mounir « **proposition d'un protocole à économie d'énergie dans un réseau hybride GSM et AD HOC** », Université Oran, thèse de doctorat, 2012
- [9] MESSAOUDI Yamina, « **Simulation et évaluation des performances des protocoles de routage AODV, OLSR et GPCR pour les réseaux VANETs sous NS-3 et SUMO** », Université A/Mira de Bejaia, 2016/2017.
- [10] INES CHIHI « **ÉTUDE DE L'ATTAQUE « Black Hole » SUR LE PROTOCOLE DE ROUTAGE VADD (Vehicule-Assisted Data Delivery)** » L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES, 2017.
- [11] NADIR BASSIM AMMAR « **Dissémination des messages dans les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANETs)** », UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, MATHEMATIQUES ET INFORMATIQUE, 2019/2018.

- [12] Lamara Soumia, Saiahi Khedidja « **Utilisation des Modèles de Machine Learning pour la Prédiction du Trafic Routier** », UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA FACULTE DES MATHEMATIQUES ET DE L'INFORMATIQUE, 2020/2021.
- [13] ZOUAOUI DEHBIA « **Clustering dans les Réseaux Sociaux Véhiculaire VSN** » Université Faculté de Génie Electrique et Informatique, Département d'Informatique, 2017/2018.
- [14] WALID BOUKSANI « **simulation d'un réseau Ad Hoc véhiculaire (VANET) application à la circulation routière** » GESTION DE LA PROTECTION DE LA VIE PRIVÉE DANS LES RESEAUX VEHICULAIRES (VANET),2017.
- [15] BELLAHCENE Mohammed Amine, BOUAZZA Mohammed Reda « **Une version améliorée du protocole GPSR pour un routage efficace dans les Vanets** » Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen Faculté des Sciences Département d'Informatique, 2015/2016.
- [16] Hachemaoui Sabrin, Hammouche Sabrina « **Evaluation des performances des protocoles de routage OLSR, AODV et GPSR pour les VANETs sous NS-3 et SUMO en milieu urbain** », Université A/Mira de Bejaia, Faculté des Sciences Exactes, Département d'Informatique, 2015/2016.
- [17] BELLAHCENE Mohammed Amine, BOUAZZA Mohammed Reda « **Une version améliorée du protocole GPSR pour un routage efficace dans les Vanets** », Université Abou Bakr Belkaid– Tlemcen, Faculté des Sciences, Département d'Informatique, 2015/2016.
- [18] TARIK EL OUAHMANI « **ETUDE D'UN PROTOCOLE DE ROUTAGE À CONTRÔLE COLLABORATIF ADAPTÉ AUX RÉSEAUX DE VÉHICULES AD-HOC "VANET" APPLIQUÉ EN MILIEU MINIER SOUTERRAIN** » université du Québec en Abitibi Témiscamingue (uqat) laboratoire de recherche télébec en communications souterraines (Irtcs) ,2012 .
- [19] BENZOUAOUA Abdellah, KEBBI Menad « **Conception et Réalisation d'un simulateur dédié pour les réseaux véhiculaires** » Université Abderrahmane Mira de Bejaïa, Faculté des Sciences Exactes, Département d'Informatique, 2015/2016.
- [20] AZZA Mohammed « **Sécurité et Routage dans les réseaux Ad hoc** » Université Djillali Liabès de Sidi-Bel-Abbès, Faculté des Sciences Exactes, Département d'informatique.

- [21] Maouche Nadira, M.Oudia Jugurta « **Approche à base d'alliances dans les graphes pour la réduction de la congestion dans les VANETs** » Université A/Mira de Bejaia, Faculté des Sciences Exactes, Département d'Informatique, 2017
- [22] Saidi Abdessamad, Mamem Wafa « **Amélioration des performances du protocole de routage EGYTAR dans les réseaux VANETs** » Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen Faculté des Sciences Département d'Informatique.2016/2017.
- [23] HATEM Manel, SALMI Siham« **Routage basé sur le clustering dans les réseaux VANETs** » Université A/Mira de Bejaia, Faculté des Sciences Exactes, Département Informatique, 2017.
- [24] Mlle BOUZEBIBA Hadjer, Mlle BOUIZEM Yasmina « **Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (V2V)** » Université Abou Bakr Belkaid–Tlemcen Faculté des Sciences Département d'Informatique, 2014/2015.
- [25] DADOUN OUIZA, GUENDOZ OUIZA « **Le routage dans les réseaux véhiculaires VANETs** » faculté de génie électrique et d'informatique département D'électronique, 2017.
- [26] Ayoub Benchabana, Ramla Bensaci « **analyse des protocoles de routage Dans les réseaux VANET** » Université Kasdi Merbah-Ouargla, 2014.
- [27] visite de 5/6/2022 <https://sourceforge.net/projects/gatcomsumo/>
- [28] Mahmoud Al Shareeda, Ayman Khalil « **Realistic Heterogeneous Genetic-based RSU Placement Solution for V2I Networks**» Article 2019.