

Table des matières

Table des matières

Liste des figures	5
Liste des tableaux	5
Liste des abréviations	7
Introduction générale	1
Réseaux véhiculaires : Caractéristiques et Architectures	3
1.1 Introduction	3
1.2 Généralités sur les réseaux sans fil	3
1.2.1 Réseaux sans fil.....	3
1.2.2 Réseaux ad hoc	3
1.2.3 Variantes de réseaux sans fil ad hoc.....	4
1.3 Les réseaux VANETs	5
1.3.1 Architecture des VANETs.....	5
1.3.2 Types de Communications.....	7
1.3.3 Standarisations.....	8
1.3.4 Caractéristiques.....	12
1.3.5 Domaines d'applications.....	13
1.3.6 Les défis dans les VANETs	14
1.4 Conclusion.....	15
Protocoles et mécanismes de routage dans les VANETs.....	16
2.1 Introduction	16
2.2 Routage dans les VANETs.....	16
2.2.1 Protocoles de routage basés sur la topologie	17
2.2.2 Protocoles de routage basés sur la géo-position.....	21
2.3 Les services de localisation	26
2.3.1 HLS (Hierarchical Location Services).....	26

2.3.2 GLS (Grid Location Service)	26
2.4 Conclusion.....	27
Le protocole A-RTIP (Advanced Measurement of Road Traffic Information Protocol)...	28
3.1 Introduction	28
3.2 Le protocole A-RTIP	28
3.2.1 Présentation du protocole A-RTIP	28
3.2.2 Maintien des informations sur le trafic routier	30
3.2.3 Paquet d'informations sur le trafic routier.....	31
3.2.4 Connectivité: deux véhicules, Cellule et route.....	32
3.2.5 Information périodique sur le trafic routier	33
3.2.6 Algorithme de transmission d'informations sur le trafic routier	34
3.2.7 Mécanisme de sélection des intersections	35
3.3 Conclusion.....	35
Implémentation et évaluation des performances du protocole A-RTIP	36
4.1 Introduction	36
4.2 Outils logiciels utilisés	36
4.2.1 Outils de travail	36
4.2.2 Description architecturale d'OMNET++	38
4.2.3 Les générateurs de mobilité	38
4.2.4 Les FrameWorks	39
4.3 Implémentation et évaluation	40
4.3.1 Description du problème 1	40
4.3.2 Solution proposée	43
4.3.3 Description du problème 2.....	43
4.3.4 Solution Proposée	45
4.4 Résultats et discussions.....	46
4.5 Conclusion.....	49
Conclusion générale et perspectives.....	51
Bibliographie	53

Liste des figures

Figure 1: Hiérarchie des réseaux sans fil.....	4
Figure 2: Exemple de réseaux VANETs	5
Figure 3: Les composants d'un véhicule intelligent.....	5
Figure 4: Le dispositif OBU (On Board Unit).....	6
Figure 5: Le dispositif RSU (Road Side Unit).....	7
Figure 6: Le mode de communication V2V	7
Figure 7: Le mode de communication V2I.....	8
Figure 8: Le mode de communication hybride	8
Figure 9: Canaux alloués par DSRC	10
Figure 10: Le modèle DSRC/WAVE	10
Figure 11: Découverte de routes dans le protocole DSR : Etape 1.....	20
Figure 12: Découverte de routes dans le protocole DSR : Etape 2.....	20
Figure 13: Greedy forwarding dans le protocole GPSR.....	22
Figure 14: Perimeter forwarding dans le protocole GPSR	22
Figure 15: Sélection des intersections dans GyTAR.....	25
Figure 16: Classification des protocoles de routage dans les VANETs.....	25
Figure 17: Exemple de serveur de localisation "Hierarchical-based"	26
Figure 18: Exemple de serveur de localisation "Hash-based"	27
Figure 19: Diffusion d'information sur le trafic routier.....	29
Figure 21: Vision locale vs. Vision avancée.....	30
Figure 22: Mécanisme de transmission d'informations sur le trafic routier	31
Figure 23: Paquet d'Informations sur le trafic routier (RTIP)	31
Figure 24: Architecture générale de VEINS.....	39
Figure 25: CAR 1 arrive à la zone d'intersection	40
Figure 26: CAR 1 diffuse le paquet RTIP	41
Figure 27: Arrivée de CAR 2 et sortie de CAR 1	41
Figure 28: CAR 2 diffuse le paquet RTIP	42
Figure 29: Problème 1 : Scénario idéal VS scénario actuel.....	42
Figure 30: Arrivée de CAR 2 à la zone d'intersection	44
Figure 31: CAR 2 diffuse le paquet RTIP	44
Figure 32: Problème 2 : Scénario idéal vs. Scénario actuel	45
Figure 33 :Evaluation des paquets broadcast dans A-RTIP et A-RTIP modifié	48
Figure 34: Evaluation des paquets d'initiation dans A-RTIP et A-RTIP modifié	48
Figure 35: Evaluation de PDR dans A-RTIP et A-RTIP modifié.....	49

Liste des tableaux

Tableau 1: La fiche technique du terminal utilisé.....	37
Tableau 2: Liste des principaux composants disponibles dans OMNET++.....	38
Tableau 3: Paramètres de simulation.....	46
Tableau 4: Résultats obtenus sur A-RTIP et A-RTIP modifié	47

Liste des abréviations

A-STAR	Anchor-based Street and Traffic Aware Routing.
AODV	Ad-hoc On-demand Distance Vector.
DSDV	Dynamic destination Sequenced Distance Vector
DSR	Dynamic Source Routing
DSRC	Dedicated Short Range Communication
GLS	Grid Location Service
GPS	Global Positioning System/Satellite
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
HLS	Hierachical Location Service
I2V	Infrastructure to Vehicule.
IEEE	Institute Of Electrical and Electronics Engineers
IP	Internet Protocol
MAC	Medium acces control
MANET	Mobile Ad hoc NETwork
MPRs	Multi Point Relays
OBU	One Boaed Unit
OLSR	Optimized Link State Routing Protocol
OSI	Open Systems Interconnection
OMNET++	Objective Modular Network Testbed in C++
RERR	Request-Error
RREP	Route-reply
RREQ	Route-Request
RSU	Road Side Unit
SUMO	Simulator Of Urban Mobility
V2I	Vehicle to Infrastructure.
V2V	Vehicle to Vehicle.

VANET	Vehicular Ad hoc NETwork
VEINS	Vehicule in Network Simulation
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environment
Wift	Wireless Fidelity
ZRP	Zone Routing Protocol

Introduction générale

Réponse aux exigences du temps et en raison des progrès impressionnants du monde dans le domaine de la technologie. Le monde des véhicules se transforme d'une simple machine thermomécaniques contrôlés par quelques composants électroniques à des machines plus complexes qui sont contrôlés par des systèmes embarqués ou des réseaux d'ordinateurs. Plusieurs facteurs ont contribué à cette évolution dans le monde de l'industrie automobile telle que l'augmentation des coûts de carburants, la pollution causée par la combustion des carburants et la haute densité automobiles en particulier dans les grandes villes.

Depuis de nombreuses années, les gouvernements, les constructeurs automobiles et groupe d'industriels internationaux, ont fixé la réduction des accidents de la route comme une priorité majeure. Afin de réussir ce challenge, une idée novatrice a été de rendre les véhicules et les routes plus intelligents par le biais des communications sans fil. Avec ces communications, l'environnement du véhicule et le "champ de vision" du conducteur sont accrus. Ainsi, grâce à des véhicules à l'écoute de leur environnement, de nombreuses applications potentielles ont été identifiées. Une application du concept d'intelligence ambiante consiste à munir véhicules et routes de capacités permettant de rendre la conduite plus sûre (informations sur le trafic, accidents, dangers, déviations possibles, informations météorologiques, etc.) et de rendre le temps passé sur les routes plus convivial (accès Internet, jeux en réseau, suivi de véhicules, groupe de discussion dans un embouteillage, etc.). Ces applications sont des exemples types de ce qu'on appelle les systèmes de transport intelligents (ITS¹).

Ce système réside sur une plateforme constitué de plusieurs véhicules pour former un réseau véhiculaire appelé VANET (Vehicule Ad hoc NETwork). Ce dernier est sans doute appartient à la famille des réseaux sans fil ad hoc, et donc, il a les mêmes caractéristiques qu'un réseau ad hoc, et en particulier un réseau MANET² -si on ajoute le facteur de mobilité-. Ces derniers ont attiré l'attention des constructeurs et des chercheurs, ce qui a conduit à la naissance des réseaux de communication ad-hoc inter-véhicules (VANETs). Les VANETs sont des réseaux MANETs appliqués à la communication inter-véhicules (IVC). Dans ces réseaux, on distingue deux modes de communication inter-véhicules : V2I (Vehicle to Infrastructure) et V2V (Vehicle to Vehicle). Les nœuds sont toutefois fortement mobiles et susceptibles de se déplacer à des vitesses considérables. Cette mobilité entraîne un changement fréquent de la topologie physique du réseau qui est une des principales caractéristiques et problèmes des VANETs, car ceci rend le routage des informations très difficile.

Dans ce contexte, on propose une amélioration du protocole de routage géographique A-RTIP

¹ ITS : Intelligent Transportation System

² MANET : Mobile Ad hoc NETwork

Ce mémoire est organisé comme suit :

- Le chapitre 1 présente les réseaux ad hoc modiles (les MANETs) tout en mettant l'accent sur un type particulier de ces réseaux qui est les réseaux VANETs.
- Le chapitre 2 est une présentation du principe de fonction des protocoles de routage conçus pour les VANETs suivie d'une étude bibliographique de certains d'eux qui ont prouvé leurs performances.
- Le chapitre 3 détaille notre contribution qui porte sur une nouvelle technique de dissémination d'informations dans les réseaux VANETs appelée A-RTIP. Cette technique de dissémination proposée se base sur la diffusion des informations du trafic routier afin d'améliorer les performances de routage dans l'environnement urbain.
- Le chapitre 4 présente les outils logiciels utilisés pour implémenter notre proposition et l'évaluation des performances du protocole A-RTIP.

Ce mémoire se termine par une conclusion générale, qui récapitule notre démarche de développement du protocole proposé et ouvre des horizons en perspectives pour des éventuelles améliorations de ce travail.

Chapitre 1

Réseaux véhiculaires : Caractéristiques et Architectures

1.1 Introduction

La technologie a rendu la vie humaine plus confortable et plus amusante, on parle plutôt d'une révolution que d'une évolution. Le domaine d'ICT a beaucoup changé pour assister à la naissance d'un nouveau type des réseaux sans fil.

Revenant un pas en arrière, on va présenter d'abord les réseaux ad-hoc de manière général, puis on se focalise sur les réseaux VANETs, les différents types de services offerts par ces réseaux et les modes de communication existants. Enfin, on décrit les différentes caractéristiques, contraintes et défis qui affronteront les concepteurs lors de la conception des protocoles de routage dédiés à ce type de réseaux.

1.2 Généralités sur les réseaux sans fil

1.2.1 Réseaux sans fil

Autre façon de faire communiquer un ensemble d'équipements, c'est l'utilisation des ondes radio (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.

1.2.2 Réseaux ad hoc

Généralement, on dit Ad hoc lorsqu'on parle sur le mode des réseaux tout comme le mode Infrastructure.

Un réseau ad hoc est un réseau sans fil symétrique 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 découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau.

Il existe plusieurs types de réseaux sans fil ad hoc selon le contexte de leur application.

1.2.3 Variantes de réseaux sans fil ad hoc

1.2.3.1 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[1], utilisant des capteurs coopérant pour surveiller des conditions environnementales ou physiques, comme la température, le son, les vibrations, la pression, le mouvement, etc.

1.2.3.2 Réseaux ad hoc mobiles

Une variante de réseau ad-hoc sans fil est le réseau mobile ad hoc (MANETs³) où les nœuds peuvent se déplacer librement et indépendamment dans n'importe quelle direction. Par conséquent, la topologie réseau de ce type de réseau changera fréquemment; établir des liens et mettre fin à des connexions sont susceptibles de se produire de temps en temps [2]

1.2.3.3 Réseaux ad hoc véhiculaires

Une autre variante des réseaux ad hoc mobiles est les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs⁴) dans lequel 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 suivant les routes et les 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 est très attractif [2].

La Figure suivante montre la relation entre les trois types des réseaux ad hoc sans fil

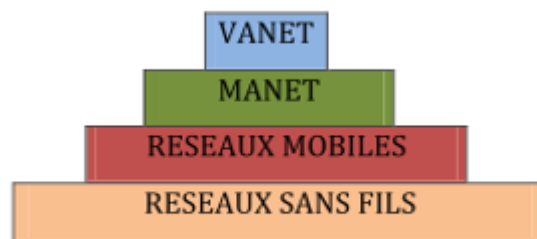


Figure 1: Hiérarchie des réseaux sans fil

Une présentation plus détaillée sur les normes des réseaux ad-hoc véhiculaires et les mécanismes d'accès aux canaux sera abordée dans la prochaine partie de ce chapitre.

³ MANETs : Mobile Ad hoc NETWORKs

⁴ VANETs : Vehicular Ad hoc NETWORKs

I.3 Les réseaux VANETs

Les réseaux VANETs constituent une nouvelle forme de réseaux ad hoc mobiles (MANET). Ils permettent d'établir des communications entre véhicules qui circulent sur les routes. Cependant, les VANETs ne sont pas des réseaux purement ad hoc. Ils peuvent utiliser, de façon opportuniste, les communications avec des infrastructures, situées aux bords des routes permettant ainsi un accès à d'autres réseaux et donc aussi, à Internet. Par rapport à un réseau ad hoc classique, les réseaux VANETs sont caractérisés par une forte mobilité des nœuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique [2].

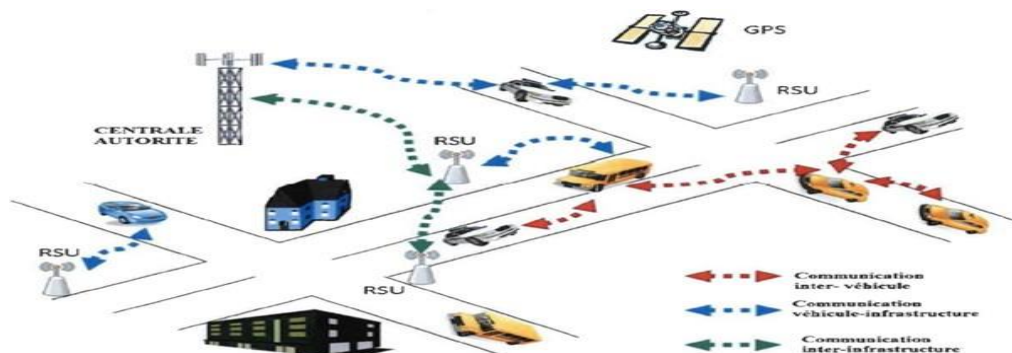


Figure 2: Exemple de réseaux VANETs

I.3.1 Architecture des VANETs

De la définition précédente, nous concluons l'existence de deux acteurs principaux qui constituent les réseaux VANETs : les véhicules et une Infrastructure.

1.3.1.1 Véhicule Intelligent

Le véhicule intelligent est un véhicule avec des appareils électroniques installés comme montre la Figure 3, permettant des communications avec les autres véhicules ou avec l'infrastructure [3]. Ils possèdent de nombreux capteurs et unités de calcul à bord permettant de gérer et traiter les informations reçues. Certains composants sont rassemblés dans un seul boîtier appelé OBU (On Board Unit) [4].

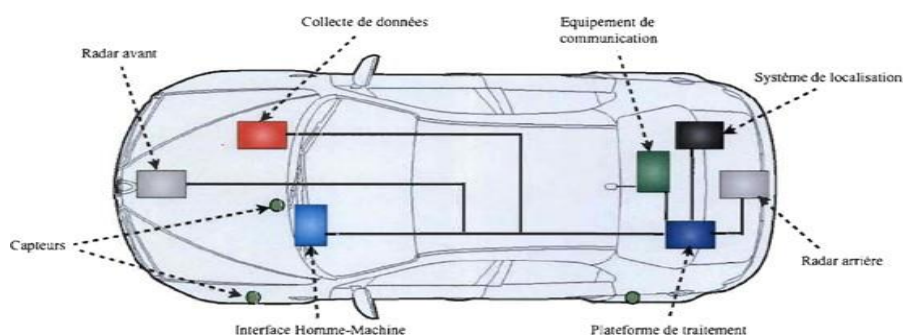


Figure 3: Les composants d'un véhicule intelligent

a) OBU (On Board Unit)

Les véhicules communiquent via un dispositif installé à leur bord dit OBU (OnBoard Unit) voir Figure 4. Les OBU représentent un ensemble équipements électroniques installés au sein de véhicules (Figure 4), tels que: les dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement.



Figure 4: Le dispositif OBU (On Board Unit)

b) AU (Application Unit)

L'AU est un dispositif électronique installé dans les véhicules pour assurer les communications avec l'autorité de confiance (CA), connecté à l'OBu afin d'exécuter des applications [3].

1.3.1.2 L'infrastructure

Le terme "Infrastructure" se résume sur un petit dispositif appelé RSU (RoadSide Unit) installé au bord de la route jouant le rôle d'un point d'accès afin d'assurer les communications avec les autres RSUs et échanger les informations relatives à l'état du trafic routier avec les utilisateurs de la route [3].

Les RSU sont habituellement installés sur des infrastructures existantes telles que les feux de circulation, les panneaux routiers ou encore les lampadaires. En plus des capteurs, les RSU disposent d'un émetteur-récepteur DSRC et d'un processeur d'applications qui offre des services de sécurité et des services non liés à la sécurité pour les multiples OBU qui sont dans la zone de transmission.

L'utilisation des RSUs offre un accès à Internet ou à des bases de données locales, permettant de la publicité ciblée en fonction de la localisation du véhicule.

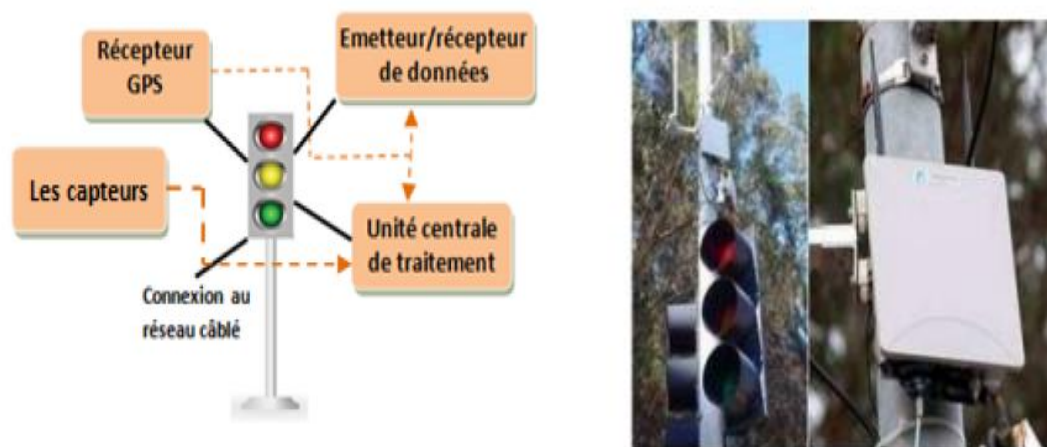


Figure 5: Le dispositif RSU (Road Side Unit)

1.3.2 Types de Communications

Les réseaux véhiculaires se composent de véhicules et de toutes les entités avec lesquelles les véhicules peuvent établir des communications. Ceci donne la possibilité de trois modes de communications [5].

1.3.2.1 Communication de Véhicule à Véhicule (V2V)

Dans cette catégorie, un réseau de véhicules est vu comme un cas particulier des réseaux MANETs [6]. En effet, un véhicule peut communiquer directement avec un autre véhicule s'il se situe dans sa zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui se charge de transmettre les messages de bout en bout en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Dans ce mode, les interfaces de communication utilisées sont caractérisées par un grand débit de transmission et une petite latence [2].

Cette architecture peut être utilisée dans le scénario de diffusion d'alertes (freinage d'urgence, collision, ralentissement...) ou pour la conduite coopérative [6]. Cependant, ce mode de communications ne permet pas de garantir une connectivité permanente entre les véhicules, ce qui le rend moins efficace pour les applications avec une grande quantité de données comme les échanges multimédias [2].



Figure 6: Le mode de communication V2V

1.3.2.2 Communication de Véhicule à Infrastructure (V2I)

Dans cette catégorie, les véhicules s'intéressent à échanger des informations avec des points d'accès RSU (Road Side Units) déployés aux bords des routes.

Cette approche repose sur le modèle client/serveur où les véhicules sont les clients et les stations installées le long de la route sont les serveurs. Ces serveurs sont connectés entre eux via une interface filaire ou sans fil. Ils peuvent offrir aux utilisateurs plusieurs services concernant le trafic, accès à Internet, échange de données de voiture-à-domicile et même la communication de voiture-à-garage pour le diagnostic distant.[7].



Figure 7: Le mode de communication V2I

1.3.2.3 Communication Hybride

La combinaison des communications véhicule à véhicule avec les communications de véhicules avec utilisation d'infrastructures, permet d'obtenir une communication hybride très intéressante. En effet, les portées des infrastructures (stations de base) étant limitées, l'utilisation des véhicules comme relais permet d'étendre cette distance.

Dans un but économique et afin d'éviter la multiplication des stations de base à chaque coin de la rue, l'utilisation des sauts par véhicules intermédiaires prend tout son importance [7].

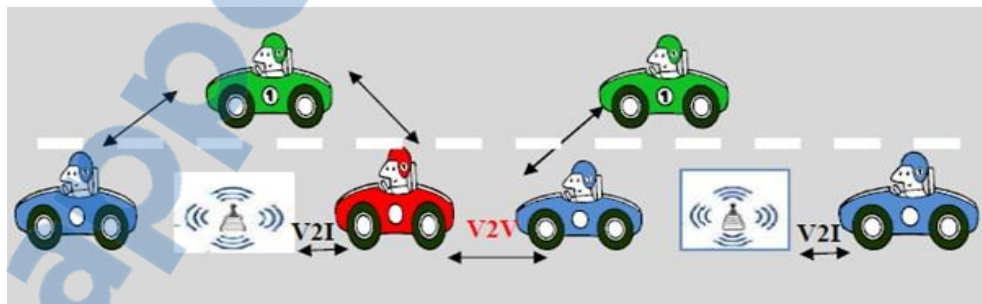


Figure 8: Le mode de communication hybride

1.3.3 Standardisation

L'utilisation des normes et des standards permet de simplifier le développement des produits, réduire les coûts, et permet aux utilisateurs de comparer les produits de concurrence. On trouve une multitude de normes qui se rapportent à l'accès sans fil dans les environnements véhiculaires [2]. Par ailleurs, en raison du large déploiement des réseaux de type WLAN, de nombreux travaux

de recherche ont été réalisés considérant cette technologie pour les communications en mode infrastructure ou en mode ad hoc. Cependant, les WLAN étant conçus pour les réseaux à faible mobilité et à faible portée (variable selon les standards nationaux de puissance et les normes), ils ne peuvent répondre aux exigences de la plupart des applications envisagées pour les réseaux véhiculaires. Pour surmonter cette limitation, une nouvelle technologie de type WLAN a été proposée par l'ITSA⁵ spécifiquement pour les communications dans les réseaux véhiculaires.

Cette technologie, nommée DSRC (Dedicated Short-Range Communications), se base sur une nouvelle variante de la norme IEEE 802.11 dite IEEE 802.11p, et une famille de protocoles appelée IEEE 1609 qui a été proposée, au sein de la pile protocolaire Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE). En utilisant la gamme de fréquences des 5,9GHz et la technique de codage OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) [5].

1.3.3.1 Dedicated Short-Range Communications (DSRC)

Le standard le plus approprié pour les communications sans fil dans les réseaux ad hoc de véhicules est actuellement DSRC. Grâce à lui on peut établir une communication V2V ainsi qu'une communication V2I. Le standard DSRC est compatible avec les contraintes des réseaux de véhicules fortement dynamiques. En effet, il offre une fiabilité de communication ainsi qu'une faible latence lors de l'établissement de la communication. Les caractéristiques de DSRC sont [8]:

- il supporte une vitesse des véhicules dépassant 200km/h
- il offre une portée radio variant entre 300 et 1000 mètres
- il garantit un temps de latence pour l'établissement de la communication ne dépassant pas 50 ms
- il permet un débit théorique (bande passante) atteignant 6 Mbps.

En 1999 aux États-Unis, la Commission Fédérale des Communications (FCC) a alloué un spectre de 75 Mhz entre les fréquences 5.850 Ghz et 5.925 Ghz [9]. Ce spectre est divisé en 7 canaux de 10 Mhz chacun, dont un canal appelé canal de contrôle (Control Channel – CCH) qui est dédié aux trames de diffusion pour les applications de sécurité, les annonces de service et les messages de véhicule à véhicule. Les 6 canaux restants prennent en charge à la fois la sécurité et les applications orientées utilisateur (exemple : les applications multimédias) [8].

⁵ ITSA : Intelligent Transportation Society of America

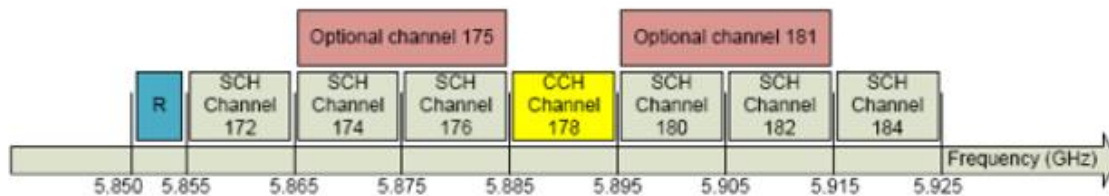


Figure 9: Canaux alloués par DSRC

1.3.3.2 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

WAVE est une architecture développée par IEEE, permettant la communication sans fil entre véhicules qui se trouvent dans le même environnement [10]. La Figure 10 montre l'architecture WAVE qui est une association de quatre standards 1609.1, 1609.2, 1609.3, et 1609.4 définis par le groupe de travail IEEE 1609 et déployés au niveau de la couche MAC (niveau 2) et de la couche réseau (niveau 3) du modèle OSI.

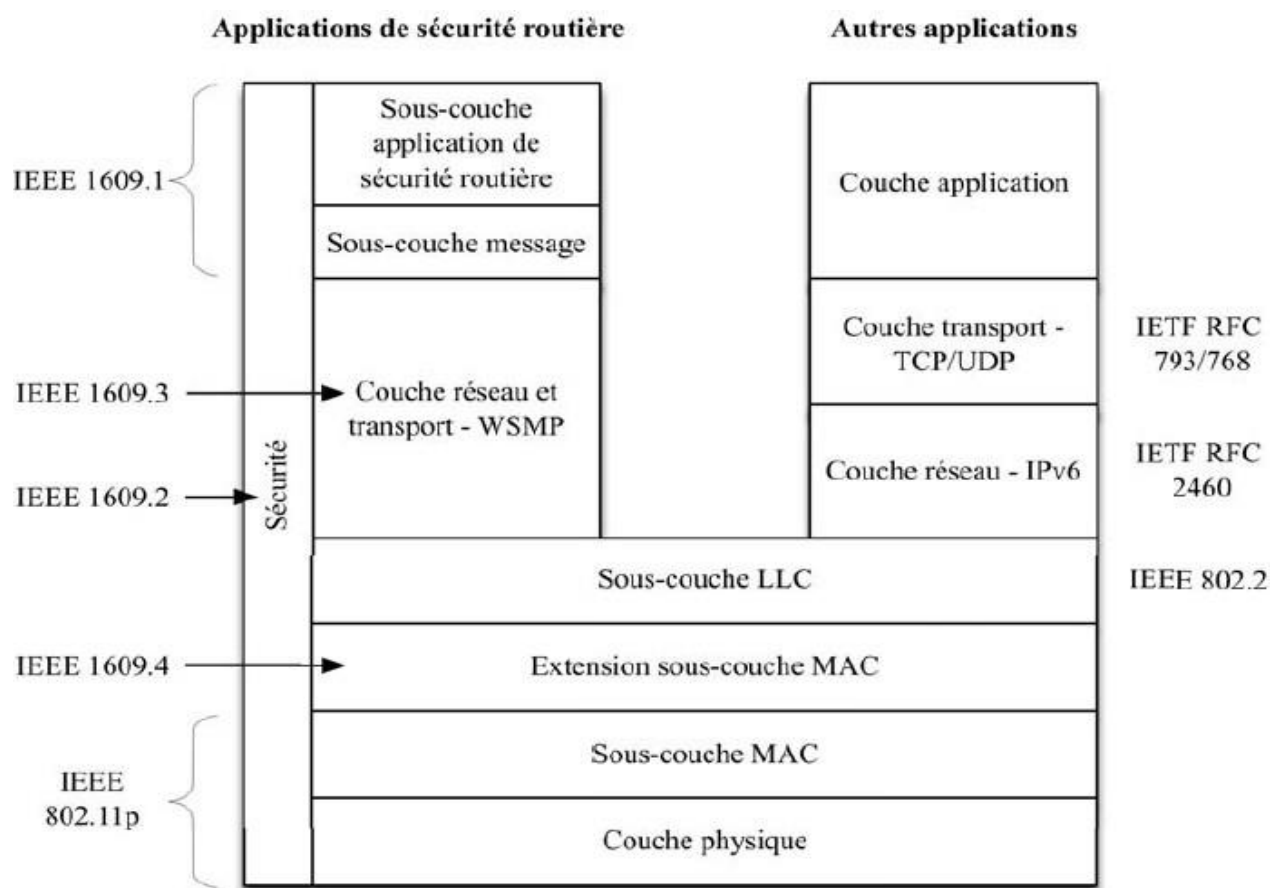


Figure 10: Le modèle DSRC/WAVE

- a) **IEEE 1609.1 (Gestionnaire des ressources)** : Ce standard décrit le service de gestion de ressources dit RM (Resource Manager) conçu pour permettre aux applications distantes de communiquer avec les OBU via les RSU. Le RM a pour objectif de répondre aux exigences des applications distantes en leur fournissant un accès en temps opportun aux ressources du OBU telles que la mémoire et l'interface utilisateur de manière cohérente et en garantissant l'interopérabilité [11].
- b) **IEEE 1609.2 (Services de sécurité pour les applications et les messages de gestion)** : Décrit les services de sécurité dans le système WAVE. Les principales applications du système étant des applications de sécurité critiques. Il est vital de définir des services de sécurité afin de protéger les messages contre les attaques telles que l'écoute clandestine, l'usurpation d'identité, et aussi de préserver la vie privée des conducteurs. Ce standard définit le format des paquets et les fonctions de sécurité, de chiffrement et d'authentification, pour les trois types de messages, de sécurité, de données et de gestion [12].
- c) **IEEE 1609.3 (Services de la couche réseau)**: Ce standard décrit les fonctions des couches réseau et transport pour les communications dans un système WAVE dont l'adressage et le routage. Il définit un nouveau type de messages dits WSM (WAVE Short Messages) et un nouveau protocole WSMP (WAVE Short Messages Protocol) pour la transmission des WSM. Le WSMP est une alternative à IPv6 qui fournit aux applications un échange de données efficace en leur permettant d'envoyer les WSM directement sur n'importe quel canal de DSRC [13].
- d) **IEEE 1609.4 (Opération multi-canal)** : Etant basés sur le DSRC, les dispositifs WAVE doivent fournir un accès multi-canal et permettre des communications sur le canal de contrôle et les canaux de service. C'est le rôle du standard 1609.4 qui définit tous les mécanismes nécessaires pour l'accès avec priorité aux canaux, la coordination et le routage des données vers les canaux et la transmission des données [14].

1.3.3.3 La norme 802.11p

La norme IEEE 802.11p est un amendement du standard IEEE 802.11 que le groupe de travail IEEE (TGP, task group) a commencé à développer en 2004 pour l'accès sans fil dans les systèmes de transport intelligents. Il définit les spécifications des couches MAC et PHY dans le cadre des réseaux véhiculaires. En ce qui concerne la norme 802.11p, sa couche physique utilise les mêmes mécanismes de traitement de signal et les mêmes spécifications que dans le standard 802.11a avec cependant quelques modifications pour l'adapter aux environnements véhiculaires. Pour offrir des communications à grandes portées, quatre classes de puissance maximale EIRP (Eective Isotropic Radiated Power) sont autorisées. La plus grande valeur, 44.8 dBm (30w), est réservée pour les véhicules d'urgence (approching emergency vehicules). La valeur typique des messages de sécurité pertinents est de 33 dBm. Pour augmenter la tolérance à l'effet de propagation des signaux par trajets multiples, une bande passante de 10 MHz est utilisée au lieu de 20MHz comme dans la norme 802.11a. En réduisant la bande passante, tous les paramètres du domaine temporel sont doublés. Ceci permet de réduire d'une part l'effet Doppler grâce à l'utilisation d'une bande passante plus petite et

d'autre part, les interférences inter symboles en doublant la valeur des intervalles de garde. Ces modifications permettent à la norme 802.11p d'offrir des débits allant de 3 à 27 Mbit/s sur des portées de communications de 300m à 1000m.

La couche MAC de la norme 802.11p est équivalente à la technique EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) de la norme 802.11e. Dans EDCA, les messages sont classifiés en quatre catégories d'accès (AC, Access Category) avec, AC0 la catégorie de messages ayant la plus faible priorité et AC3 la catégorie de ceux ayant la plus grande priorité. A chaque catégorie est associée une file d'attente où sont gardés les paquets en attente d'envoi. La priorité est assurée en affectant différents paramètres d'accès à chaque catégorie [5].

1.3.4 Caractéristiques

Les réseaux véhiculaires ont des caractéristiques spécifiques qui les distinguent de réseaux ad hoc mobiles. La conception des protocoles pour les VANETs doivent prendre en compte les caractéristiques des réseaux véhiculaires.

Dans cette partie, nous présentons quelques propriétés et contraintes concernant ce type de réseaux [2]:

- a) Forte mobilité :** C'est le premier facteur qui distingue les réseaux véhiculaires des autres classes de réseaux sans fil. La vitesse des véhicules varie selon l'environnement, elle est en moyenne de 50km/h en zones urbaines et peut atteindre 130km/h sur les autoroutes. Bien que les mouvements des véhicules soient relativement prédictibles, l'impact de la mobilité sur la connectivité du réseau reste l'une des difficultés majeures des réseaux véhiculaires [5].
- b) Caractéristiques inhérentes au canal radio :** Dans les réseaux sans fil traditionnels, les échanges de données s'effectuent généralement dans des espaces ouverts sans obstacle ou dans des espaces clos en intérieur. Les communications dans les réseaux VANETs se font en environnement externe défavorable pour l'établissement des liens radio en raison de la multitude d'obstacles (forêts, montagnes, bâtiments . . .) notamment en zones urbaines, et aussi sur un environnement périurbain ou autoroutier avec des différentes caractéristiques. Ces obstacles causent une sévère dégradation de la qualité et de la puissance des signaux émis [15].
- c) Connectivité intermittente et topologie :** Une conséquence directe de la forte mobilité et des obstacles de l'environnement est une connectivité intermittente. Un lien établi entre deux entités du réseau peut rapidement disparaître en raison soit de la mobilité qui éloigne les deux entités communicantes, soit des obstacles qui empêchent la propagation du signal [5], ce qui nous mène à avoir une topologie très dynamique, et imprévisible avec une connectivité peu garantie.
- d) Diversité de la densité :** La densité des nœuds dans un réseau véhiculaire n'est pas uniforme mais à variation spatio-temporelle. La densité en milieu urbain est par exemple beaucoup plus élevée qu'en milieu rural. Le nombre de véhicules dans une intersection ou dans un embouteillage est plus important que sur des routes extra-urbaines où le trafic est souvent fluide. D'un point de vue temporel, la densité est par exemple différente selon qu'on

considère la nuit ou la journée, les heures de pointe ou les heures creuses. Cette diversité de la densité rend difficile la conception de solutions génériques étant donné que les problèmes rencontrés à forte densité sont différents de ceux causés par la faible densité [6].

- e) **Le potentiel énergétique** : À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicules [16].
- f) **Partitionnement du réseau** : le problème de partitionnement du réseau survient essentiellement lorsque la densité des nœuds est faible. Les véhicules se déplacent alors en groupes isolés non connectés. Il devient dans ce cas difficile d'assurer les communications de bout-en-bout [5].
- g) **Le modèle de communication** : Les réseaux VANETs ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (exemple diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par reliaisons successives d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en broadcast ou en multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est par exemple pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre [6].

1.3.5 Domaines d'applications

Plusieurs services peuvent être offerts par les réseaux VANETs, ils sont classés selon leur utilité en trois catégories générales :

1.3.5.1 Applications dans la sécurité routière

Les applications de sécurité visent à améliorer la sécurité des passagers sur les routes en avisant les véhicules de toute situation dangereuse. Ces applications se basent en général sur une diffusion périodique ou non de messages informatifs permettant aux conducteurs d'avoir une connaissance de l'état des routes et des véhicules voisins.

A titre d'exemple, alerter un conducteur en cas d'accidents permet d'avertir les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident que les conditions de circulation se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance. Les messages d'alertes et de sécurité doivent être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible et doivent être émis à des périodes régulières [15].

1.3.5.2 Les applications de gestion de trafic

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

durée des voyages et la consommation d'énergie ... [5].

1.5.3.3 Services liés au confort

En plus des services liés à la sécurité, d'autres services assurent le confort des voyageurs; ces services peuvent être: La communication multimédia, les jeux en réseau, la messagerie instantanée, l'accès à Internet, les paiements automatiques et la diffusion d'informations utiles.

1.3.6 Les défis dans les VANETs

Des caractéristiques des réseaux véhiculaires découlent plusieurs défis que l'on peut résumer en ces principaux points :

- a) Sécurité :** La sécurité dans les réseaux VANETs est cruciale, car elle affecte la vie des gens. Il est essentiel, par exemple, que l'information vitale ne puisse pas être modifiée ou supprimée par un attaquant [17]. Les communications passant par un véhicule du réseau ainsi que des informations sur les véhicules et leurs conducteurs doivent être garanties et protégées de façon à assurer le bon fonctionnement des systèmes de transport intelligents.
- b) Qualité de service :** La QoS se mesure en fonction de l'application supportée. On peut distinguer plusieurs contraintes dans les applications utilisées dans les VANETs, parmi lesquelles on cite : la latence, les messages doivent parvenir à destination dans des délais courts; une connectivité non intermittente, par exemple les applications de confort telles que le transfert de fichiers ou le téléchargement nécessitent une connectivité permanente, etc. [17].
- c) Canal radio :** Le rôle des mécanismes de gestion du canal radio est d'offrir des transmissions fiables et robustes et un partage équitable du médium de communication. Pour atteindre cet objectif dans le cas des réseaux VANETs, il est nécessaire de définir des méthodes qui permettent de faire face aux deux problèmes majeurs des transmissions qui sont, les interférences inter-symboles dues à la propagation des ondes par trajets multiples et l'effet Doppler causé par le mouvement des véhicules [17].
- d) Routage :** Pour que les véhicules puissent communiquer entre eux, un protocole de routage doit être défini. En effet, quand les véhicules ne sont pas à une portée de transmission radio directe, le routage est exigé pour établir la communication entre les véhicules. Les problèmes auxquels doivent faire face ces protocoles sont la connectivité intermittente qui rend les routes déjà établies obsolètes et le partitionnement du réseau qui empêche la propagation des paquets [17].

1.4 Conclusion

Enfin de compte, on a vu que les réseaux véhiculaires (VANETs) ne font qu'une partie des MANETs. Dans ce chapitre nous avons cité leurs caractéristiques, leurs applications et leurs contraintes. Nous avons montré aussi que la communication dans les réseaux VANETs avec chacun de ces modes V2I et V2V servent à améliorer la sécurité routière en évitant les collisions en cas d'un accident, encombrement, freinage, intersection. etc. tout cela en échangeant des messages d'alerte de collision entre les véhicules.

Toutes ces applications nécessitent de tenir compte de l'importance de l'échange d'informations entre les véhicules. Une des contraintes des MANETs et VANETs est le problème d'acheminement des données entre les nœuds mobiles du réseau.

Dans le chapitre suivant, nous allons voir le rôle de routage ainsi que la classification des protocoles de routage dans les réseaux véhiculaires.

Chapitre 2

Protocoles et mécanismes de routage dans les VANETs

2.1 Introduction

La forte mobilité des nœuds dans les réseaux VANETs est le point qui donne une particularité et met ce type de réseaux comme une sous-catégorie des réseaux MANETs, cela implique que l'interconnexion entre les nœuds peut changer à tout moment. Dans la plupart des cas, le véhicule destinataire se trouve loin du véhicule source, et dans cette situation, l'échange des données entre les deux véhicules nécessite forcément l'existence d'autres stations, appelées stations intermédiaires (des véhicules ou des infrastructures).

La stratégie de routage est utilisée dans le but de découvrir les chemins qui existent entre les nœuds. Le but principal d'une telle stratégie est l'établissement de routes qui soient correctes et efficaces entre une paire quelconque de nœuds, ce qui assure l'échange des messages d'une manière continue. Vu les limitations des réseaux ad hoc, la construction des routes doit être faite avec un minimum de contrôle et de consommation de la bande passante.

Dans ce chapitre, on va présenter les différents protocoles de routage utilisés dans les réseaux véhiculaires, leurs objectifs ainsi que leurs principes.

2.2 Routage dans les VANETs

Le routage joue un rôle très important dans les VANETs puisque tous les services supportés, unicast ou multicast, se basent sur des communications multi-sauts pour l'acheminement des données. Les communications unicast sont généralement utilisées dans les applications de confort telles que le transfert de fichiers et les jeux. Les communications multicast sont utilisées dans les applications de sécurité et de gestion de trafic telles que l'avertissement de collision et le platooning.

Dans notre étude, on s'intéresse exclusivement au routage unicast car le besoin en ressources est plus critique pour faire aboutir les communications. Deux grandes classes de protocoles de routage unicast peuvent être distinguées selon le type d'informations utilisées pour acheminer les données.

- La première classe est celle des protocoles qui se basent sur des informations sur la topologie du réseau. Il s'agit des protocoles conçus pour les réseaux MANETs.
- La seconde classe est celle des nouveaux protocoles dits géographiques ou de position qui se basent sur des informations supplémentaires sur la position géographique et dans certains

protocoles sur la vitesse et l'itinéraire des nœuds pour la sélection des nœuds relais [5].

2.2.1 Protocoles de routage basés sur la topologie

Les protocoles à base topologique utilisent des informations sur les liens qui existent entre les nœuds, et se divisent en trois catégories (réactive, proactive ou hybride) pour créer des itinéraires.

2.2.1.1 Les protocoles proactifs

Dans les protocoles proactifs, chaque nœud garde une image de la topologie de tout le réseau. Cette image est mise à jour, périodiquement ou à chaque modification topologique, par un échange de messages de contrôle. Les routes sont déterminées sur la base de cette image [5].

a) Le Protocole DSDV

DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) est un exemple de protocole unicast proactif dans lequel chaque nœud dans le réseau maintient une table de routage. Cette table comporte les informations suivantes : la liste de tous les nœuds destinataires possibles, le nombre de sauts nécessaires pour atteindre chaque destination, enfin, le numéro de séquence (SN) qui correspond à une destination. Chaque nœud envoie sa table de routage à tous les nœuds de son voisinage lorsqu'un changement se produit. En effet, la table de routage est mise à jour selon deux paramètres : le temps et l'évènement. Pour chaque mécanisme de mise à jour, le numéro de séquence est incrémenté pour différencier les anciennes des nouvelles routes.

Dans le protocole DSDV, le nœud attend la prochaine mise à jour initiée par la destination, avant de mettre à jour l'entrée associée vers cette destination dans la table de routage. Cependant, ce mécanisme d'attente ralentit le fonctionnement du protocole et diminue sa performance [18].

b) Le Protocole OLSR

Le protocole de routage OLSR (Optimized Link State Routing), est un protocole de routage proactif développé dans le cadre du projet HYPERCOM de l'Institut National de la Recherche en Informatique et Automatique (INRIA) de France.

Il est considéré comme une optimisation du protocole à état des liens filaires pour les réseaux mobiles ad hoc. 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, ceci est réalisé grâce à l'utilisation de la technique des relais multipoints (MPR : Multi-Point Relaying), donc 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 [6].

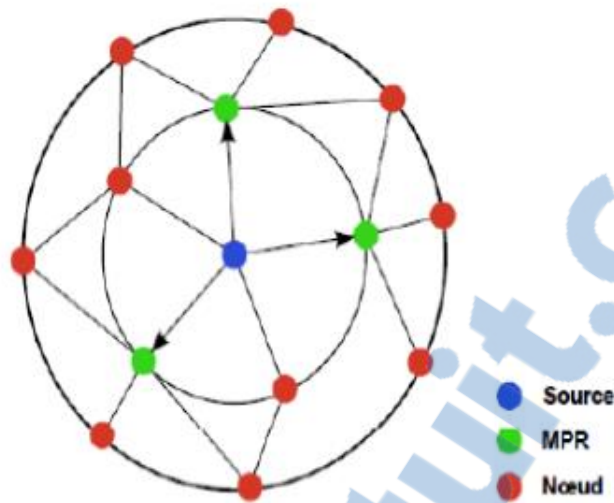


Figure 11 : Sélection des MPRs

2.2.1.2 Les protocoles réactifs

Les protocoles réactifs adoptent des algorithmes classiques tels que le routage par vecteur de distance. Les routes sont établies uniquement sur demande et seules les routes en cours d'utilisation sont maintenues. Dans ce cas, un délai supplémentaire est nécessaire au début de chaque session pour la recherche du chemin. Lorsqu'un nœud veut envoyer des paquets, une étape de découverte de routes est initiée par la diffusion d'un message de recherche de route. Tout nœud qui reçoit ce message et qui ne dispose pas d'informations à propos de la destination diffuse à son tour le message. Ce mécanisme est appelé mécanisme d'inondation [6].

a) Le Protocole AODV

AODV (On Demand Distance Vector) est un protocole de routage réactif; dans lequel les chemins sont découverts et maintenus à la demande lorsqu'un nœud souhaite envoyer des données à un nœud destinataire.

- La première étape consiste à diffuser (broadcast) à tous les nœuds du réseau un message RREQ de découverte du chemin de routage. Un nœud, à la réception du message (RREQ), consulte sa table de routage ; s'il détecte un chemin le reliant au nœud destination, il ajoute son adresse dans le chemin de routage et retransmet le message (RREQ) vers le nœud suivant. Simultanément, il envoie un message de confirmation (RREP) au nœud source ; ce message l'informe de sa participation à la construction du chemin de routage. Le chemin de routage est représenté comme une chaîne de nœuds reliant le nœud source au nœud destinataire. Chaque nœud intermédiaire pointe vers le nœud suivant et précédent par deux pointeurs appelés respectivement pointeur suivant et pointeur précédent. La chaîne construite par les pointeurs suivants sert à transférer les paquets de la source au destinataire. En revanche, la chaîne de retour est pointée par les

pointeurs précédents pour retourner au nœud source les réponses de confirmation ou d'acquittement de réception des paquets. Le protocole AODV fonctionne d'une manière distribuée : chaque nœud intermédiaire maintient uniquement ses pointeurs précédents et suivants, au lieu de maintenir la chaîne du chemin entier (shared-based).

- La deuxième étape du protocole AODV consiste à maintenir le chemin de routage jusqu'à la fin de la transmission. Pour le maintien du chemin, le protocole utilise trois différents types de messages à savoir :
 - (1) le message route time-out, diffusé lorsqu'aucune activité n'est remarquée sur le chemin pendant un certain temps;
 - (2) le message Hello, généralement diffusé sur le réseau pour détecter la présence des nœuds dans le voisinage direct. De plus, le message Hello permet de maintenir les pointeurs précédents et suivants afin de maintenir le chemin stable durant le transfert des paquets;
 - (3) le message route-error diffusé sur le chemin lors de la détection d'une rupture de liens dans le chemin.

Un inconvénient du protocole réactif AODV apparaît lors du maintien des chemins de routage. Chaque nœud est responsable de maintenir la paire de pointeurs précédent et suivant qui le relie respectivement aux nœuds précédent et suivant de la chaîne. Ce maintien est assuré jusqu'à ce que les nœuds reçoivent le message d'acquittement, précisant la bonne réception des paquets par le nœud destinataire. Une congestion par surcharge de mises-à-jour apparaît lorsqu'un nœud assure le maintien de plusieurs chemins reliant différents destinataires. Une telle congestion est due notamment aux messages Hello diffusés périodiquement sur le chemin pour maintenir les liens. De plus, la construction réactive des chemins de routage augmente les délais de transmission des paquets [19].

b) Le Protocole DSR (Dynamic Source routing)

DSR fonctionne de la même manière que AODV ; c'est un protocole réactif qui n'utilise aucun échange périodique d'informations de contrôle, seules les routes actives sont maintenues dans les tables de routage. De même que AODV, lorsqu'un nœud source désire envoyer des données vers une destination pour laquelle il ne possède pas de route :

- il initie une procédure de découverte de routes en diffusant un paquet RREQ.
- Un nœud qui reçoit le RREQ répond par un RREP s'il est le destinataire ou s'il contient dans sa table une route vers le destinataire.
- Dans le cas contraire, le nœud insère son identifiant dans l'entête du RREQ qu'il rediffuse.

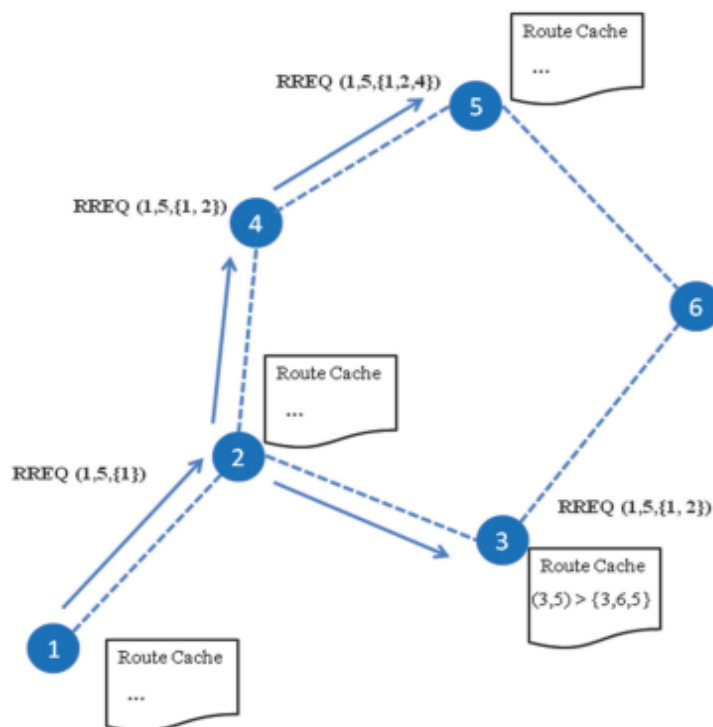


Figure 11: Découverte de routes dans le protocole DSR : Etape 1

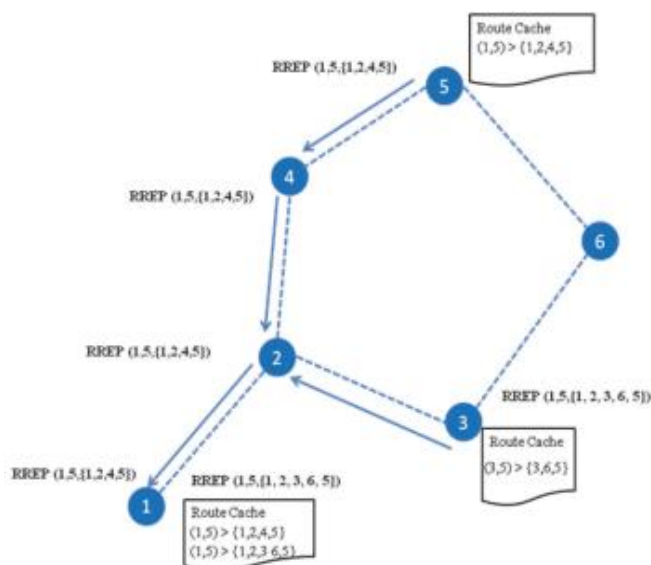


Figure 12: Découverte de routes dans le protocole DSR : Etape 2

Protocole DSR : Découverte de chemin de routage

Étape 1 :

Les nœuds 1 et 5 sont respectivement les nœuds source et destinataire. La table de routage du nœud source est vide, donc aucun chemin n'est défini vers le nœud 5. Le nœud 1 diffuse RREQ. Ensuite, la demande est transmise jusqu'au nœud 5 par l'intermédiaire des nœuds 2, 4 (puisque aucun de ces nœuds intermédiaires ne connaît de route vers 5). En revanche, le nœud 3 ayant dans sa table de routage le chemin, il ne retransmet pas la requête RREQ vers les nœuds voisins.

Étape 2 :

Le chemin de routage découvert est envoyé au nœud source (RREP). Il sera ajouté dans l'entête du paquet à envoyer au nœud 5.

Le nœud 1 reçoit deux chemins, un émis par le nœud destinataire 5, et un émis par le nœud 3, ayant dans sa table un chemin le reliant à 5.

Un nœud qui répond à une requête de route indique la liste des nœuds entre la source et la destination dans l'entête du paquet RREP. Cette liste est soit directement extraite du RREQ si l'émetteur du RREP est le destinataire ou déduite à partir de la table de routage et de l'entête du RREQ si la réponse est émise par un nœud intermédiaire. En cas d'échec de réception d'un RREP, le nœud source utilise la même procédure que dans AODV, il retransmet à chaque échec un nouveau paquet RREQ ; si aucune réponse n'est reçue au bout d'un certain nombre de tentatives, le nœud abandonne le processus de découverte de route qu'il ne relance qu'au bout

d'un certain délai.

La différence entre les protocoles AODV et DSR réside dans le fait que :

- Dans AODV la route est déterminée de proche en proche, alors que DSR utilise la technique de routage par la source, c'est-à-dire que le nœud source détermine la suite complète de nœuds à traverser qu'il insère dans chaque paquet de données avant sa transmission. Cette séquence est utilisée par chaque nœud de la route pour déterminer le prochain relai vers le destinataire.
- Contrairement à AODV, chaque nœud peut garder plusieurs routes vers une destination, une route principale et des routes secondaires qui sont utilisées dans le cas de rupture de la route principale. La rupture de route peut être détectée par la source ou par un nœud intermédiaire qui envoie un message d'erreur de route à la source. Le nœud intermédiaire peut également tenter de retransmettre les données s'il connaît une route vers le destinataire autre que celle indiquée dans le paquet de données [5].

2.2.1.3 Les Protocoles hybrides

Les protocoles hybrides définissent deux zones où ils combinent le comportement proactif à l'intérieur d'une zone et le comportement réactif entre les zones. Leur avantage est qu'ils s'adaptent aux réseaux des grandes tailles.

Le protocole Zone Routing Protocol (ZRP)

Le protocole de routage ZRP (Zone Routing Protocol) 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. Ainsi, la zone de routage d'un nœud inclut tous les nœuds qui sont à une distance au maximum de sauts. Les nœuds qui sont exactement à 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 [20].

2.2.2 Protocoles de routage basés sur la géo-position

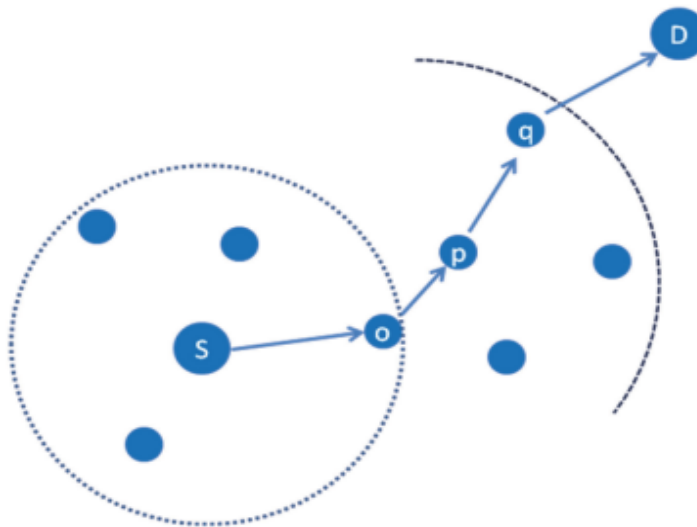
Ces protocoles semblent selon les dernières études plus promettant en termes de robustesse et de gestion d'une mobilité hautement dynamique. Dans le routage basé sur la position au lieu d'utiliser des tables de routage ou des stockages des itinéraires, il utilise les informations de position des nœuds voisins et de destination pour déterminer le prochain saut de transmission vers la destination sans nécessité de changer l'état du lien ou de configurer l'installation. La méthode la plus courante pour obtenir la position des nœuds est le système de positionnement global (GPS). Les données de la position de destination sont stockées dans l'en-tête du paquet par la source [16].

a) Le protocole GPSR

Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) est un protocole de routage géographique (Position-based), unicast et réactif. Dans les protocoles géographiques tels que GPSR, la source

connait sa position, la position de ses voisins et la position du destinataire. Les informations liées à la position des noeuds sont récupérées via un GPS. Le protocole GPSR utilise deux mécanismes pour transmettre un paquet à son destinataire [4] :

- Transmission Gloutonne (Greedy Forwarding) : consiste à envoyer les données vers le noeud le plus proche du destinataire qui se trouve en portée radio. C'est la méthode par défaut.



Le protocole GPSR

Les noeuds S et D sont respectivement les noeuds source et destinataire. S , d'après l'algorithme glouton, choisit dans sa zone de transmission radio, le noeud le plus proche de D (il choisit alors le noeud o). Le même algorithme se répète entre les noeuds p et q . Lorsque le paquet atteint le noeud q , celui ci envoie directement au noeud destinataire D .

Figure 13: Greedy forwarding dans le protocole GPSR

- Transmission de Périmètre (Perimeter Forwarding) : GPSR fait appel à cette technique de transmission quand la méthode par défaut n'aboutit pas.

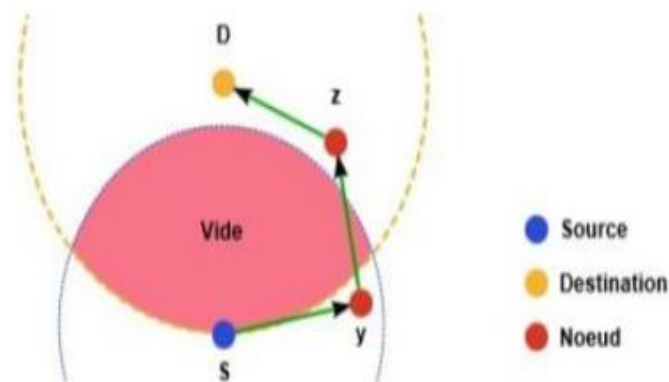


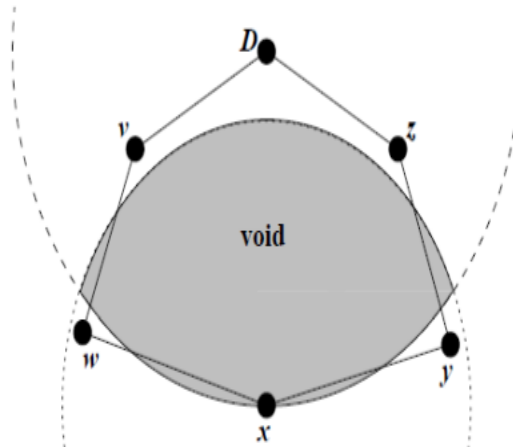
Figure 14: Perimeter forwarding dans le protocole GPSR

Dans le cas où il n'existe pas de noeuds voisins proche de la destination que le noeud lui même. Sur la figure 14, S est plus proche de D que son voisin y . Ainsi le chemin ($x \rightarrow y \rightarrow z \rightarrow D$) existe vers D , S ne choisira pas de transmettre à y avec la technique du Greedy Forwarding. Pour

résoudre ce problème, on utilise la règle de la main droite. L'application de cette règle sur l'exemple de la figure 14 donne le chemin suivant :

$$X \rightarrow W \rightarrow V \rightarrow D \rightarrow Z \rightarrow Y \rightarrow X.$$

Cette combinaison de noeuds traversés est appelée Périmètre. Le paquet est alors envoyé par la route : $X \rightarrow Y \rightarrow Z \rightarrow D$ ou $X \rightarrow W \rightarrow Y \rightarrow D$.



b) Le protocole GSR

Le protocole GSR (Geographic Source Routing) est un protocole géographique qui combine le routage basé sur la position avec des informations relatives à la topologie des routes pour construire une connaissance adaptée à l'environnement urbain.

Selon le protocole GSR, un véhicule source désirant émettre un paquet de données à un véhicule cible, calcule le chemin de routage le plus court pour atteindre ce véhicule cible, à partir des informations géographiques d'une carte routière. On notera que le chemin de routage en question est calculé dans son intégralité, en utilisant par exemple l'algorithme de Dijkstra. [21].

A partir du chemin de routage calculé, le véhicule source sélectionne ensuite une séquence d'intersections par lesquelles le paquet de données doit transiter afin d'atteindre le véhicule cible. Cette séquence d'intersections est constituée par un ensemble de points géographiques fixes de passage du paquet de données (Chemin d'Ancrage, en anglais Anchor Path), sur cette séquence, les messages circulent en utilisant le mode Greedy [22].

Tous les paquets dans GSR ne contiennent que des informations sur la source, la destination, et les chemins d'ancrages. En conséquence, le protocole GSR ne prend pas en considération l'état du trafic pour assurer la connectivité.

Un autre inconvénient de ce protocole de routage est qu'il ne tient pas compte de certaines situations comme un réseau dispersé, où le nombre de nœuds pour la transmission des

paquets est insuffisant. Ce qui en fait un réseau adapté pour le milieu urbain [23].

c) Le Protocole A-STAR

A-STAR (Anchor-based Street and Traffic Aware Routing) est un protocole de routage basé sur la position pour un environnement véhiculaire métropolitain. Il utilise particulièrement les informations sur les itinéraires d'autobus de ville pour identifier une route d'ancre (anchor route) avec une connectivité élevée pour l'acheminement des paquets.

A-STAR est similaire au protocole GSR en adoptant une approche de routage basée sur l'ancrage (anchor-based) qui tient compte des caractéristiques des rues. Cependant, contrairement à GSR (qui ne tient pas compte de l'état du trafic) il calcule les "anchor paths" en fonction du trafic (trafic de bus, véhicules, etc.). Un poids est assigné à chaque rue en fonction de sa capacité (grande ou petite rue qui est desservie par un nombre de bus différents). Les informations de routes fournies par les bus donnent une idée sur la charge de trafic dans chaque rue. Ce qui donne une image sur le trafic dans une ville à des moments différents [24].

A-STAR utilise une nouvelle stratégie de recouvrement locale pour les paquets acheminés vers un minimum local, qui consiste à recalculer les chemins ce qui est plus approprié pour un environnement métropolitain, en comparant avec l'approche Greedy de GSR et le mode de recouvrement GPSR.

A-STAR, comme GPSR et GSR utilise le mode Greedy pour transmettre les paquets et surmonte leurs points faibles en fournissant une nouvelle stratégie de recouvrement, qui calcule un nouveau chemin d'ancrage du maximum local par lequel le paquet est routé. Grâce à la connaissance du trafic et de la nouvelle stratégie de recouvrement, A-STAR surpasse GPSR et GSR [25].

d) Le protocole GyTAR

C'est un protocole de routage géographique pour les réseaux véhiculaires. Il est basé sur les informations de géo-localisation et adapté aux environnements urbains. Il est constitué de deux modules :

- un choix dynamique et progressif des intersections par lesquelles un paquet de données doit passer pour atteindre sa destination,
- une approche gloutonne améliorée pour l'envoi des paquets entre deux intersections données.

Au niveau de chaque intersection, le choix de la prochaine intersection traversée par le paquet de données est réalisé en assignant un score à chacune des intersections voisines. Ce score prend en compte la distance qui sépare l'intersection candidate de la destination finale, et aussi de la densité du trafic routier entre l'intersection courante et l'intersection candidate. En conséquence, l'intersection sélectionnée (celle avec le meilleur score) est l'intersection la plus proche de la destination, et vers laquelle les conditions de trafic sont optimales.

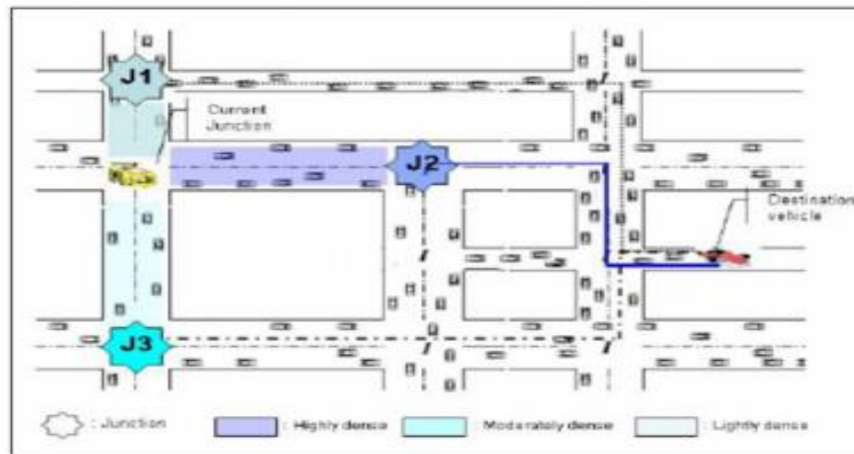


Figure 15: Sélection des intersections dans GyTAR

Une fois la prochaine intersection sélectionnée, les paquets de données sont relayés successivement de véhicule en véhicule en utilisant une approche gloutonne améliorée: le véhicule porteur d'un paquet cherche à le relayer à un véhicule voisin plus proche de l'intersection sélectionnée que lui-même (voir Figure 15). Ce véhicule voisin devient à son tour un nœud porteur et ainsi de suite. Si le véhicule porteur est le nœud le plus proche de la destination parmi tous les nœuds de son voisinage, on se retrouve dans le cas d'un échec de route. GyTAR utilise alors une solution de recouvrement qui consiste à transporter les paquets par le véhicule lui-même en direction de cette intersection

L'objectif de ce protocole est de router les données de proche en proche en considérant les différents facteurs spécifiques à ce genre d'environnements réseaux. Ce protocole suppose que chaque véhicule connaît sa position courante et ceci grâce au GPS. De plus un nœud source est sensé connaître la position du destinataire pour pouvoir prendre des décisions de routage, cette information est donnée par un service de localisation tel que GLS (Grid Location Service) et peut déterminer la position des intersections voisines à travers des cartes numériques [16].

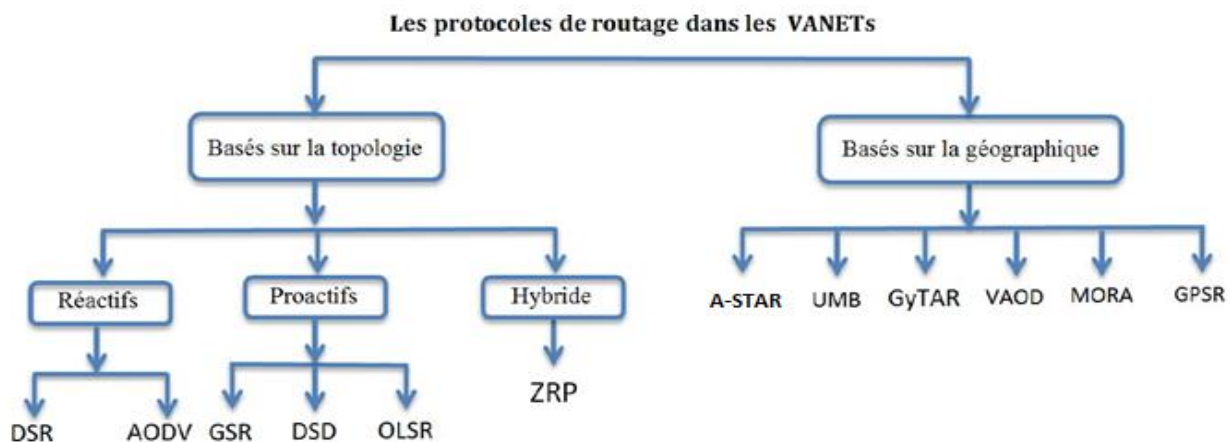


Figure 16: Classification des protocoles de routage dans les VANETs

2.3 Les services de localisation

Dans tous les protocoles mentionnés et non mentionnés il y a une différence sur la méthode de fonctionnement et ou l'idée proposée et le taux de complexité en appliquant l'algorithme de ce protocole, et cela s'applique aux protocoles de routage en général et aux protocoles basés sur la position géographique en particulier. Ces derniers utilisent avant tout un service de localisation.

Chaque protocole dans la famille des protocoles géographiques utilisent en premier lieu un service de localisation qui est le responsable pour fournir l'emplacement actuel du véhicule destinataire, en fournissant les coordonnées géographiques. On distingue deux types de structure de données pour les serveurs de localisation distribués : HLS (Hierarchical Location Services) et GLS (Grid Location Service).

2.3.1 HLS (Hierarchical Location Services)

Le service HLS couvre tout le réseau via un schéma hiérarchique de région ; il divise le réseau en hiérarchie de plus petit niveau, où le plus bas niveau est appelé cellule. Pour chaque nœud une fonction de hachage est utilisée pour sélectionner un ou plusieurs serveurs d'endroit. À chaque niveau de l'hiérarchie ; cette fonction de hachage est utilisée aussi pour identifier le nœud, maintenir et stocker les informations sur sa position pour les différents serveurs de position responsables. Lorsque un nœud change sa position, il transmet la mise à jour de sa position aux serveurs de position responsables pour chaque cellule. Le nœud commence son processus de découverte et de localisation en interrogeant les autres nœuds de la cellule dans l'ordre de l'hiérarchie, jusqu'à ce qu'il reçoit une réponse contenant la position actuelle du nœud source [26].

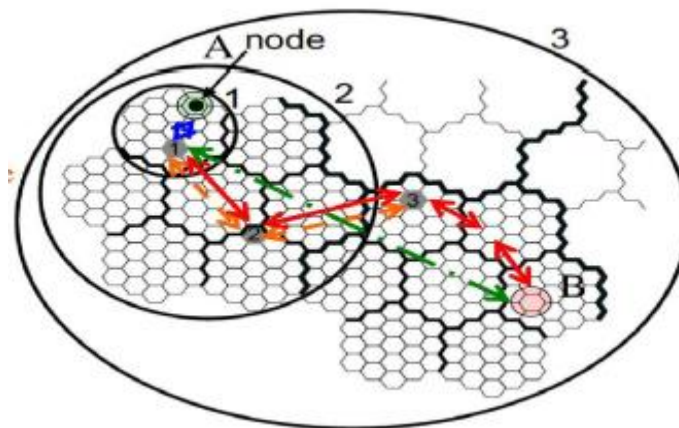


Figure 17: Exemple de serveur de localisation "Hierarchical-based"

2.3.2 GLS (Grid Location Service)

Il repose sur un ensemble de serveurs de localisation repartis dans tout le réseau, avec une mise à jour des informations en tenant compte de la mobilité des nœuds. Ce réseau est formé par une grille hiérarchique, avec des carrés de taille croissante, représenté par des niveaux, où chaque 4 carrés de petites tailles représentent un niveau, et chaque 4 carrés de ce niveau représentent un nouveau niveau et ainsi de suite.

Chapitre 3

Le protocole A-RTIP (Advanced Measurement of Road Traffic Information Protocol)

3.1 Introduction

Les caractéristiques vues dans le chapitre 1 donnent une particularité spéciale aux protocoles des réseaux VANETs. Ces protocoles doivent répondre à des contraintes assez compliquées pour atteindre l'objectif pour lequel ils ont été conçus. Cette complexité a lancé un défi entre les grands constructeurs d'automobiles et incité les laboratoires de recherche à travailler dur dans ce nouveau et vaste domaine.

Ce chapitre est considéré comme une entrée vers le thème abordé dans ce mémoire, il explique l'idée, le fonctionnement et la valeur ajoutée dans ce domaine à travers ce nouveau protocole proposé dans ce contexte.

3.2 Le protocole A-RTIP

3.2.1 Présentation du protocole A-RTIP

A-RTIP est un protocole de routage géographique basé sur la diffusion des informations du trafic routier afin d'améliorer les performances de routage dans l'environnement urbain. L'idée principale de ce protocole est de maintenir l'information sur le trafic routier et de la partager avec les routes successeurs comme le montre la figure 19.

Le véhicule le plus proche d'une intersection est sélectionné en tant que RIN (RTIP Initiator Node). Les RINs sont chargés d'initier périodiquement le paquet d'informations sur la circulation routière (RTIP) et de le transmettre en direction de toutes les intersections voisines. Contrairement au principe de GyTAR et EGyTAR, le RIN initie le RTIP même si les véhicules sont sur le point de quitter la route actuelle. Par ailleurs le véhicule le plus proche d'une intersection ne signifie pas nécessairement qu'il est sur le point de quitter la route actuelle.

Lorsque le RTIP atteint la fin de la route, le nœud de diffusion du RTIP (RBN : RTIP Broadcasted Node) diffusera d'abord le RTIP autour de la fin de la route (comme le concept de GyTAR et EGyTAR) ce qui permet à tous les véhicules situés au bout de la route de connaître toutes les informations relatives à la circulation routière dans le RTIP. Deuxièmement, contrairement au concept GyTAR et EGyTAR, le RBN duplique et transmet le RTIP en direction de toutes les

intersections voisines, cela est uniquement si le timeout n'est pas expiré.

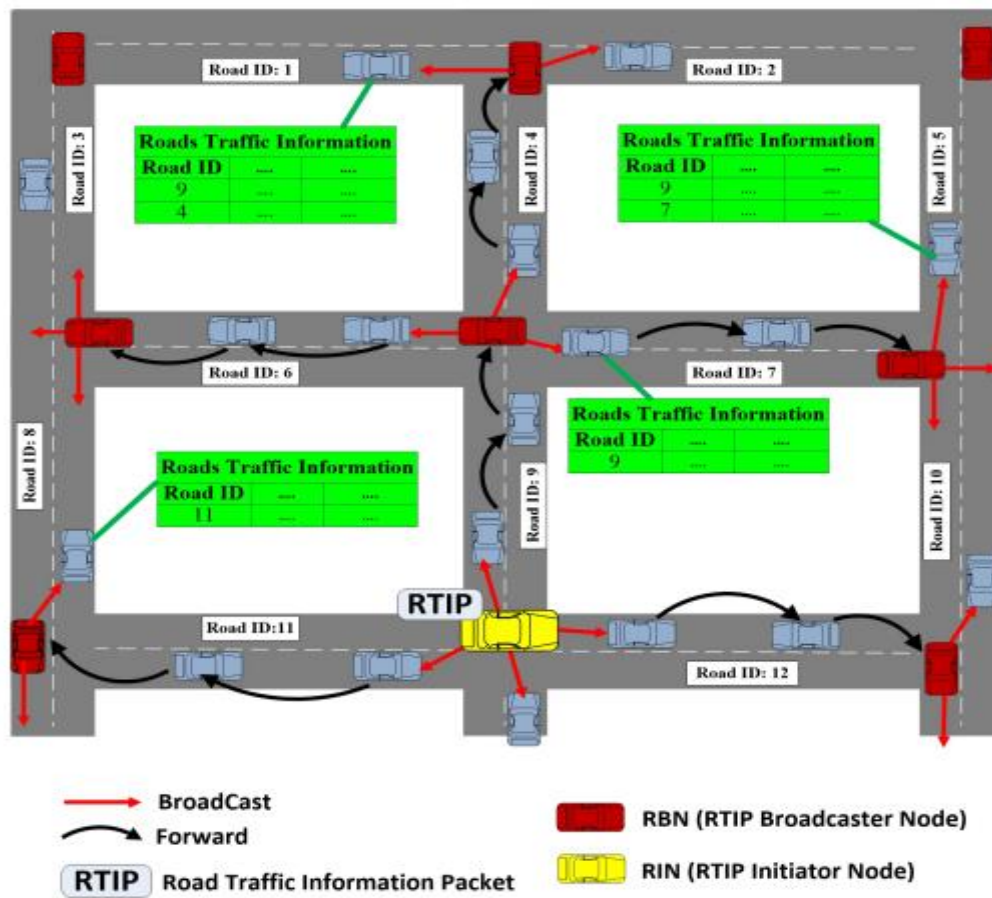


Figure 19: Diffusion d'information sur le trafic routier

La propriété intéressante de notre mécanisme de diffusion est que le paquet RTIP peut contenir un certain nombre d'informations sur les routes en fonction du délai d'attente RTIP. Il est conseillé de contourner la vision locale comme c'est le cas chez de nombreux protocoles de routage tels que GyTAR et EGYTAR et s'orienter vers une vision avancée. La figure 20 montre un exemple de vision locale et de vision avancée.

Dans la section précédente on a donné un bref aperçu sur notre proposition et dans la section suivante on décrit les éléments fondamentaux de notre proposition avec plus de détails.

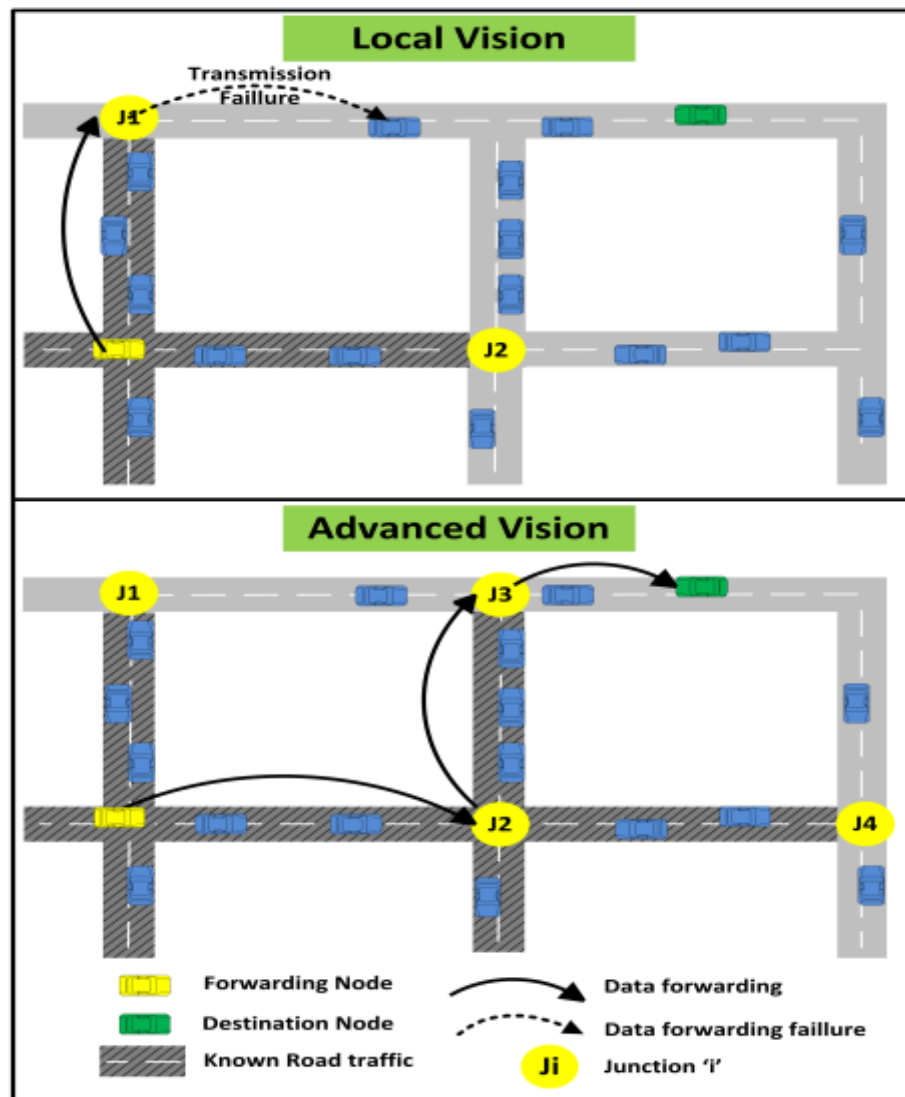


Figure 20: Vision locale vs. Vision avancée

3.2.2 Maintien des informations sur le trafic routier

Comme il est bien connu, les véhicules ont une nature très dynamique qui provoque des changements fréquents de la topologie des réseaux VANETs. Par conséquent, il est très important de conserver des informations nouvelles et permanentes sur le trafic routier afin de renforcer la fiabilité du routage dans un tel réseau par rapport à la topologie dynamique.

Afin de rendre ce protocole de routage parfaitement adapté aux changements de la topologie, nous proposons une information de groupe répartie capable de fournir des informations permanentes sur le trafic routier acheminées par le paquet RTIP. Pour garantir cette propriété, chaque route est divisée en cellules physiques définissant un groupe de véhicules, comme indiqué à la figure 22, où chaque groupe élit un chef de groupe (GL : Group Leader) (le véhicule le plus proche du centre de la cellule). Nous proposons également que chaque paquet RTIP doit passer par tous les GL qui appartiennent à la route, comme illustré à la figure 22. De plus, les GLs ont pour mandat de mettre

à jour les RTIP en incluant les informations de leurs groupes (densité, connectivité, ...) sur la base de la position géographique de tous les membres du groupe (grâce aux paquets beacons).

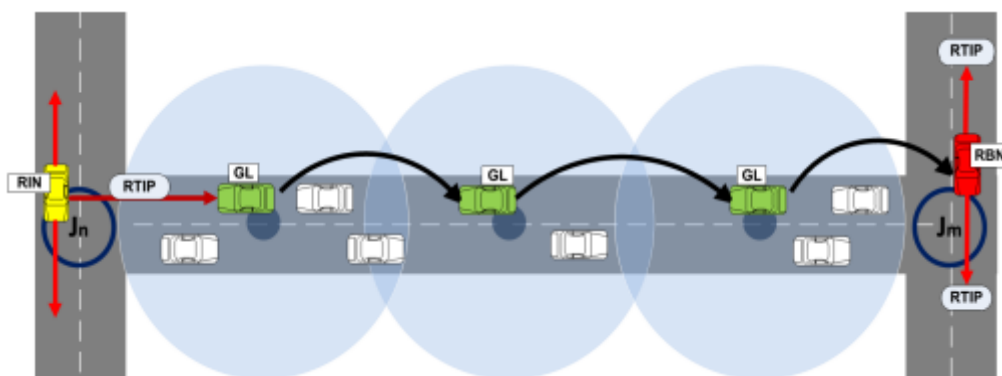


Figure 21: Mécanisme de transmission d'informations sur le trafic routier

3.2.3 Paquet d'informations sur le trafic routier

Le RTIP est conçu pour stocker et transférer des informations du trafic routier. Le format du paquet RTIP est présenté par la figure 23 et il se compose de trois parties:

- **En-tête statique:** Initialisé une seule fois par le nœud initiateur RTIP (RIN), il se compose de deux champs time-stamp et Source-Junction ID, qui servent à identifier le paquet RTIP.
- **En-tête dynamique:** modifié par les nœuds RIN et RBN, contrairement à l'en-tête statique, l'en-tête dynamique peut être mis à jour par chaque processus de diffusion. Il contient les informations pertinentes pour la prochaine route qui sera traitée.
- **Informations sur les routes:** la partie la plus importante consiste en une entrée d'informations sur les routes, dans laquelle chaque entrée est créée par un RBN (ou par le RIN du RTIP initial).

Road Traffic Information Packet				
Static Header	Time-stamp		Source Junction ID	
	From Junction ID	To Junction ID	Time-stamp	
Dynamic Header	Road ID	Road Connectivity	Road Density	Delay
	9	125	12	2ms
	...	...	...	...
Road Information Table				

Figure 22: Paquet d'Informations sur le trafic routier (RTIP)

3.2.4 Connectivité: deux véhicules, Cellule et route

Dans cette section, nous visons à définir le lien de connectivité (LC) entre deux véhicules consécutifs, cellules et route. Premièrement, le LC entre deux véhicules consécutifs mesure la distance de communication restante entre ces deux véhicules. Par conséquent, deux véhicules sont connectés tant que la valeur de la distance de communication restante est supérieure à zéro, sinon les véhicules ne sont pas connectés ($LC = 0$).

Le LC de deux véhicules peut être exprimé comme suit:

$$LC_{veh}(v_i, v_j) = \begin{cases} R_{tr} - dist(v_i, v_j), & \text{if } dist(v_i, v_j) \leq R_{tr} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Où :

- v_i et v_j représentent respectivement le numéro des véhicules i et j
- $Dist$ représente la distance euclidienne entre les deux véhicules
- R_{tr} représente la portée de transmission.

Séquentiellement, la cellule physique définit un groupe de véhicules et le LC de la cellule est lié aux LC de ses membres du groupe (véhicules). Nous proposons donc que le LC de la cellule soit la moyenne des LC_{veh} de tous les véhicules consécutifs dans la cellule. Le LC_{Cell} est défini par l'équation (2).

$$LC_{Cell} = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} LC_{veh}(v_i, v_{i+1})}{N - 1} \quad (2)$$

Où N représente le nombre de véhicules dans la cellule (densité de la cellule).

De la même manière que la connectivité de lien de cellules, la route est composée d'un ensemble de cellules consécutives, et en prenant en considération la connectivité inter-cellules et le fait que la densité des cellules diffère l'une de l'autre, la connectivité routière complète peut être exprimée comme suit:

$$LC_{Route} = \frac{\sum_{i=1}^{N_{Cell}} (N_i * LC_{Cell_i}) + \sum_{i=1}^{N_{Cell}-1} LCI(Cell_i, Cell_{i+1})}{\sum_{i=1}^{N_{Cell}} N_i} \quad (3)$$

$$LCI(Cell_i, Cell_{i+1}) = LC_{veh}(last_v(Cell_i), first_v(Cell_{i+1})) \quad (4)$$

Où $LCI(Cell_i, Cell_{i+1})$ est la connectivité de liaison entre le dernier véhicule de la cellule $Cell_i$ et le premier véhicule de la cellule $Cell_{i+1}$ (la cellule suivante).

3.2.5 Information périodique sur le trafic routier

Afin de fournir une diffusion permanente et régulière des informations sur le trafic routier, le protocole A-RTIP propose une initiation périodique du paquet RTIP. Comme l'illustre l'algorithme 1, lorsqu'un véhicule intermédiaire passe sur une intersection, il vérifie tout d'abord si son temporisateur a expiré et s'il s'agit d'un nœud RIN (le véhicule le plus proche au centre de l'intersection actuel), si oui, il crée un nouveau paquet RTIP et initie l'en-tête statique du paquet RTIP. Puis, il transmet ce paquet RTIP aux GLs de toutes les cellules voisines. Ainsi, le nœud RIN diffuse un message d'initiation à tous les véhicules situés autour de l'intersection actuelle afin de prendre connaissance du processus d'initiation et lance son temporisateur.

Algorithm 1 : Periodic Road Traffic Information Initiation

```

1: Begin
   -  $V$  : Vehicle
   -  $rti_p$  : Road traffic information packet
   -  $cell_n$  : Neighbor cell
   -  $current_j$  : The current junction of  $V$ 
   -  $first_j$  : The first junction of  $cell_n$ 
   -  $last_j$  : The last junction of  $cell_n$ 
   -  $SH$  : The static header of  $rti_p$ 
   -  $DH$  : The dynamic header of  $rti_p$ 
   -  $RIN$  : Road Traffic Information Initiator Node
2: if ( $V$  around cross roads) then
3:   if ( $timer > 1sec \wedge V$  is  $RIN$ ) then
4:      $rti_p.SH.time\_stamp = currentTime()$ ;
5:      $rti_p.SH.source\_junction = current_j$ ;
6:     for (all neighboring cells " $cell_n$ ") do
7:        $rti_p.DH.time\_stamp = currentTime()$ ;
8:        $rti_p.DH.from\_junction = cell_n.first_j$ ;
9:        $rti_p.DH.to\_junction = cell_n.last_j$ ;
10:      Forward  $rti_p$  to  $GL$  of  $cell_n$ ;
11:    end for
12:    Broadcast  $RIN\_initiation\_msg$  around  $current_j$ ;
13:     $timer = 0$ ;
14:  end if
15:  if ( $V$  receives  $RIN\_initiation\_msg$ ) then
16:     $Start_{timer}(V)$ ;
17:  end if
18: end if
19: End

```

3.2.6 Algorithme de transmission d'informations sur le trafic routier

L'objectif de l'algorithme de transmission d'informations sur le trafic routier est de faire circuler les paquets RTIP sur la route en passant par tous les GLs de la route. Comme montre l'algorithme 2, lorsqu'un véhicule intermédiaire reçoit un paquet RTIP, il vérifie d'abord sa durée de vie, si la durée est écoulee, le véhicule supprime ce paquet, sinon, le véhicule d'expédition met à jour son tableau d'information sur le trafic routier et quitte le processus d'expédition.

Algorithm 2 : Road Traffic Information Forwarding

```

1: Begin
   -  $V$  : Vehicle
   -  $rti_p$  : Road traffic information packet
   -  $RTI_{lf}$  : Road Traffic Information lifetime
   -  $DH$  : The dynamic header of  $rti_p$ 
   -  $GL$  : Group Leader
2:  $V$  receives  $rti_p$ ;
3: if  $((currentTime - rti_p.SH.time\_stamp) > RTI_{lf})$ 
   then
4:   delete  $rti_p$ ;
5:   Return;
6: end if
7: if ( $rti_p$  is broadcasted) then
8:   Update Road Traffic Information table;
9:   Return;
10: end if
11:  $to_j = rti_p.DH.to\_junction$ ;
12:  $from_j = rti_p.DH.from\_junction$ ;
13: if ( $V$  is  $GL$  of  $current\_cell$ ) then
14:   Update  $rti_p$ ;
15:   if ( $current\_cell$  is last( $cell$ )) then
16:     if ( $V$  is around  $to_j$ ) then
17:       Forward  $rti_p$  to  $RBN$ ;
18:     else
19:       Forward  $rti_p$  to closest neighbor to  $RBN$ ;
20:     end if
21:   else
22:     Forward  $rti_p$  to  $GL$  of next cell;
23:   end if
24: else
25:   Forward  $rti_p$  to  $GL$  of  $current\_cell$ ;
26: end if
27: if ( $V$  is  $RBN$  of  $to_j$ ) then
28:    $road\_id = getRoadID(from_j, to_j)$ ;
29:    $delay = currentTime - rti_p.DH.time\_stamp$ ;
30:    $rti_p.roadTable[road\_id].delay = delay$ ;
31:   Broadcast  $rti_p$  around  $to_j$ ;
32:   for (all neighboring cells " $cell_n$ ") do
33:      $rti_p.DH.from\_junction = cell_n.first_j$ ;
34:      $rti_p.DH.to\_junction = cell_n.last_j$ ;
35:     Forward  $rti_p$  to  $GL$  of  $cell_n$ ;
36:   end for
37: end if
38: End

```

3.2.7 Mécanisme de sélection des intersections

Dans notre protocole de routage (A-RTIR), les intersections intermédiaires appropriées sont choisies dynamiquement, un par un, en fonction de la connectivité routière et du délai des paquets pour traverser la route grâce aux paquets RTIP qui fournissent ces informations. Sur la base de ces facteurs, un score est affecté à toutes les routes sur lesquels on a des informations connues et une valeur maximale à toutes les informations routières inconnues, puis nous calculons le chemin le plus court entre l'intersection actuelle et la destination finale. L'intersection candidate appartenant au chemin le plus court est sélectionnée comme prochain saut. La fonction score est exprimée comme suit:

$$Score(Route_i) = \alpha \left(1 - \frac{LC_{Route_i}}{R_{tr}} \right) + \beta \left(\frac{\text{délai}(Route_i)}{R_{tr}} \right) \quad (5)$$

Où α et β sont des coefficients de pondération ($\alpha + \beta = 1$).

Les valeurs possibles de α et β ont été évaluées par des simulations et nous avons constaté que les valeurs $\alpha = 0,4$ et $\beta = 0,6$ permettent de meilleures performances de routage.

3.3 Conclusion

Ce chapitre est consacré à présenter nos idées et suggestions en présentant une nouvelle technique de routage dans les réseaux VANETs.

A-RTIP qui appartient aux protocoles géographiques, il se distingue des autres par ses propriétés, sa méthode de fonctionnement et sa valeur ajoutée par rapport à ses prédécesseurs, sachant que dans sa logique, il est un peu similaire au protocole GyTAR.

Dans ce protocole, on s'est basé sur deux algorithmes qui construisent l'identité de ce protocole comme on a mentionné dans les sections précédentes.

Dans le chapitre qui suit, on développe notre proposition qui sera autour de ces algorithmes dans le but de les améliorer afin d'avoir des meilleurs résultats.

Chapitre 4

Implémentation et évaluation des performances du protocole A-RTIP

4.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente les outils logiciels pour le développement et l'évaluation du protocole A-RTIP. Puis on décrit la démarche suivie pour implémenter notre solution de routage proposée.

Il s'agit d'une description breve du simulateur OMNET++ et le modèles de mobilité BonnMotion et SUMO. On évalue la solution proposée en termes de certaines métriques qui permettent de caractériser les performances des protocoles de routage et on compare les résultats obtenus à d'autres protocoles.

4.2 Outils logiciels utilisés

Toute nouvelle solution passe par un processus d'évaluation et de validation avant son éventuel déploiement. Le moyen idéal de réaliser cette tâche est de pouvoir effectuer des testes dans des environnements réels. Cependant, de part la nature distribuée, l'environnement et la topologie complexe des réseaux véhiculaires, la simulation est le moyen le plus largement utilisé. En effet, il est plus facile et moins cher, par le biais de la simulation, de concevoir, d'analyser et d'évaluer les performances de toute solution.

Pour la réalisation de notre travail nous avons besoin d'un outil permettant de simuler la communication réseau entre les nœuds et d'un module permettant de générer une mobilité aussi proche que possible du comportement réel des véhicules.

Dans cette section, nous allons présenter l'environnement de simulation et la configuration des paramètres d'entrée, ainsi que les critères d'évaluation.

4.2.1 Outils de travail

Dans les VANETs, nous distinguons deux types de simulateurs : les simulateurs du trafic routier et les simulateurs réseaux. [4].

- Les simulateurs de trafic routier sont utilisés pour la réalisation de la carte du réseau routier et la génération de la mobilité souhaitée (types de véhicules, vitesses, évènements de la route, etc.).

- Les simulateurs réseaux se chargent d'évaluer les performances des protocoles et les différents services réseaux.

Le premier outil à le mettre en place pour la simulation des réseaux VANETs est **VEINS** qui est composé de deux simulateurs distincts, **OMNeT++** pour la simulation des réseaux et **SUMO** pour la simulation du trafic routier/

4.2.1.1 Environnement matériel

La simulation a été réalisée sur un ordinateur Lenovo G50-80 dont la configuration est la suivante :

Tableau 1: La fiche technique du terminal utilisé

Processeur	Intel (R) Core™ i5-5200U CPU @ 2.20 GHz 2.20 GHz
Mémoire	4 Go DDR3
Disque Dure	1 To
Carte Graphique	AMD Radeon HD 8600M Series

4.2.1.2 Environnement logiciel

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

- **Système d'exploitation** : Linux Ubuntu 16.04 LTS.
- **Le simulateur OMNet++ 5.0:** C'est un simulateur Open Source des réseaux de communication supportant des modèles de mobilité. Il est basé sur C++.
- **Le simulateur SUMO :** C'est un simulateur Open Source, portable, microscopique et continu de la circulation routière. Il est conçu pour gérer de grands réseaux routiers.

4.2.2 Description architecturale d'OMNET++

4.2.2.1 Les composants du simulateur OMNET++

Tableau 2: Liste des principaux composants disponibles dans OMNET++

Application	FTP, Telnet, générateur de trafic (IPTrfGen..), Ethernet, Ping App, UDPApp, TCPApp
Transport	TCP, UDP, RTP
Réseau	IPv4, IPv6, ARP, OSPF, LDP, MPLS, ICMP, TED...
Liaison	Mgmt, MAC, Radio
Node	Ad Hoc, Wireless, MPLS...

4.2.2.2 Les principaux fichiers d'OMNET++

a) Fichier (.Ned)

Utilise le langage NED de description de réseau. Il peut être utilisé en 2 modes : mode graphique ou mode texte qui permettent de décrire les paramètres et les ports du module. Les erreurs commises sont indiquées en temps réel par un point rouge situé à la gauche du code.

b) Fichier (.ini)

Ce fichier est lié étroitement avec le fichier NED et permet à l'utilisateur d'initialiser les paramètres des différents modules ainsi la topologie du réseau.

c) Fichier (.msg)

Les modules communiquent en échangeant des messages. Ces derniers peuvent être déclarés dans un fichier dont l'extension est (.msg) où l'on peut ajouter des champs de données. OMNeT++ traduira les définitions de messages en classes C++.

4.2.3 Les générateurs de mobilité

4.2.3.1 SUMO (Simulation de la mobilité urbaine)

C'est une source ouverte, microscopique, multimodel. Elle permet de simuler la manière dont une demande de trafic donnée qui se compose de véhicules individuels se déplaçant à travers un réseau routier donné. La simulation permet de traiter un grand nombre de sujets de gestion du trafic. Il est purement microscopique : chaque véhicule est modélisé de manière explicite, a un tracé propre, et se déplace individuellement à travers le réseau.

4.2.3.2 BonnMotion

BonnMotion est un logiciel Java qui crée et analyse des scénarios de mobilité. Il est développé au sein du groupe Communication Systems à l'Institut of Computer Science IV de l'Université de Bonn, en Allemagne, où il sert d'outil pour l'étude des caractéristiques des réseaux mobiles ad hoc. Les scénarios peuvent également être exportés pour les simulateurs de réseaux ns-2, GloMoSim / QualNet, COOJA et MiXiM.

BonnMotion génère plusieurs types de scénarios tels que :

- Chain Model "ChainScenario".
- ColumnMobility Model "Column".
- The Random Waypoint model ' RandomAWypoint '[27].

4.2.4 Les FrameWorks

4.2.4.1 Veins (Vehicles in Network Simulator)

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

Les nœuds peuvent alors interagir avec la simulation du trafic routier de déplacement, par exemple, pour simuler l'influence d'IVC sur le trafic routier.

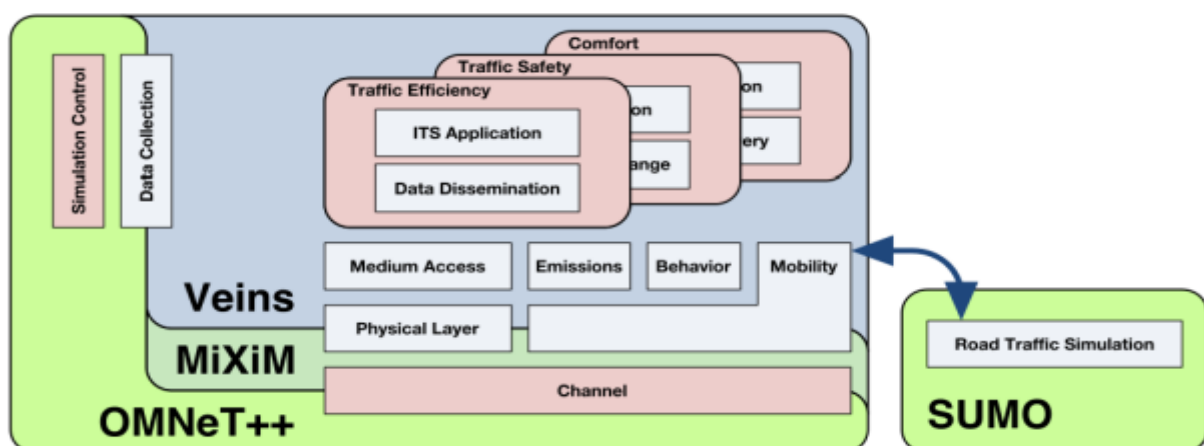


Figure 23: Architecture générale de VEINS

4.2.4.2 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.

INET contient des modèles pour la pile à Internet (TCP, UDP, IPv4, IPv6, OSPF, BGP, etc.), protocoles de couche de liaison filaire et sans fil (Ethernet, PPP, IEEE 802.11, etc.), le soutien à la mobilité, les protocoles de MANET, DiffServ, MPLS avec LDP et RSVP-TE signalisation, plusieurs modèles d'application, et de nombreux autres protocoles et des composants. Plusieurs autres Framework de simulation prennent INET comme base, et de l'étendre dans des directions spécifiques, tels que les réseaux de véhicules, superposition/réseaux Peer-to-Peer, ou LTE.

4.3 Implémentation et évaluation

Dans cette partie on s'intéresse aux limites de l'algorithme 1 "Periodic Road Traffic Information Initiation" présenté dans le chapitre 3. On le met dans certains scénarios bien définis pour tester ces capacités. Par ailleurs, afin d'améliorer cet algorithme, on essaie d'avoir toujours les informations qui aident à la décision, en respectant toujours les délais convenus.

4.3.1 Description du problème 1

Un manque d'information et ou de communication au niveau des intersections peut engendrer des défaillances et des décalages dans le temps d'envoi des données. Dans ce qui suit, on va bien discuter ce problème et montrer le point de faille.

Un véhicule, lorsqu'il arrive au point d'intersection, la première chose à faire c'est d'initialiser son propre timer 'compteur'

t_0 : c'est le moment de lancement du timer par CAR 1

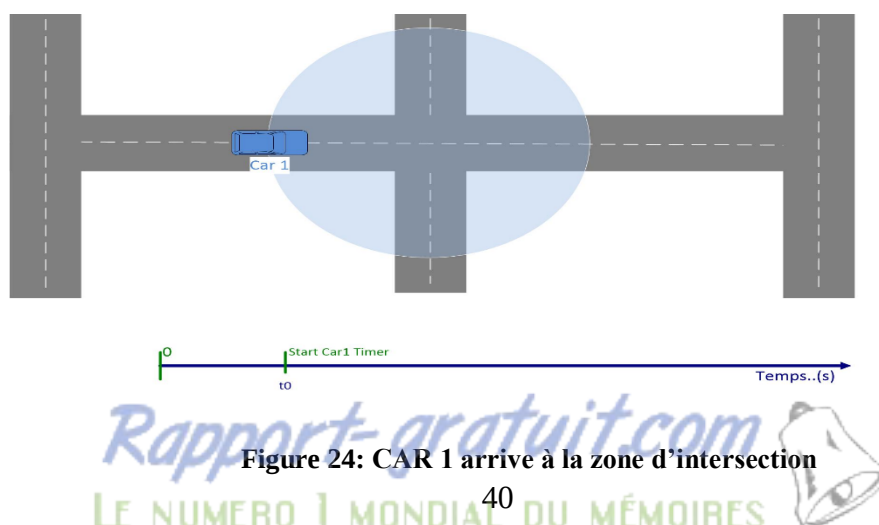


Figure 24: CAR 1 arrive à la zone d'intersection

Après 1 seconde de t_0 :

- CAR 1 lance en broadcast un paquet RTIP vers toutes les routes
- Initie le timer à nouveau **et** informe les véhicules situés dans cette zone pour réinitialiser leur compteur à 0

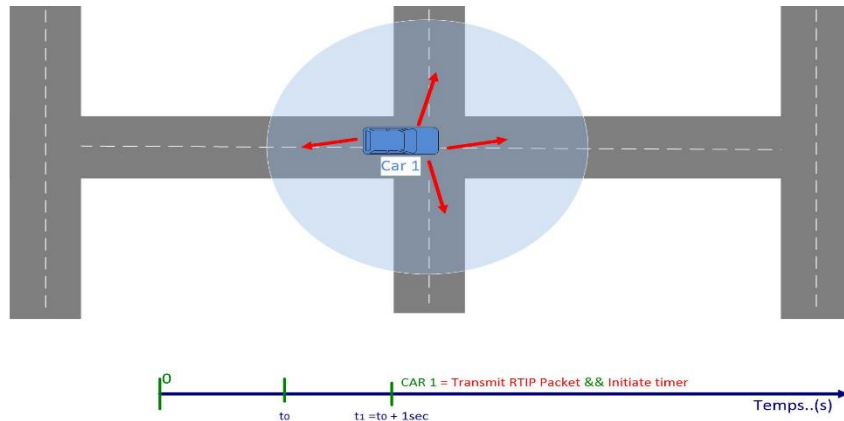


Figure 25: CAR 1 diffuse le paquet RTIP

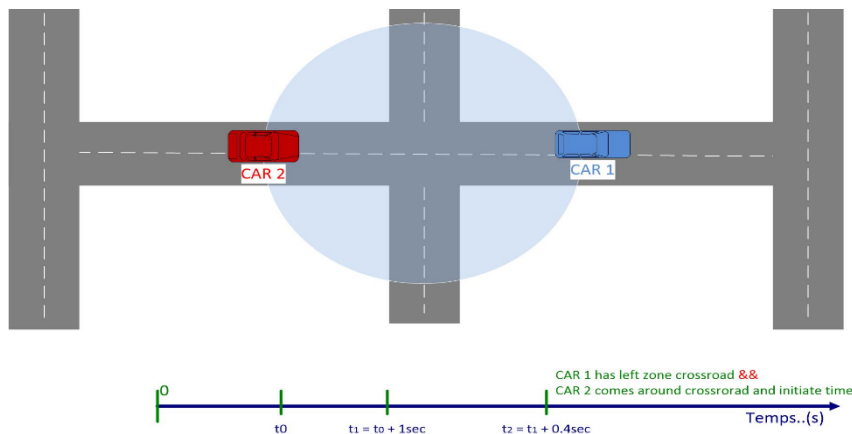


Figure 26: Arrivée de CAR 2 et sortie de CAR 1

A cet instant (t_2) CAR 1 quitte la zone d'intersection

CAR 2 rejoint cette zone, et donc applique la même procédure, i.e : initialise son compteur. Il est à noté que ces 2 événements passent après 0.4 secondes du dernier broadcast ($t_2 = t_1 + 0.4$).

Après 1 seconde de l'arrivée du CAR 2 :

- CAR 2 lance en broadcast un paquet RTIP vers toutes les directions
- Initie le timer à nouveau et informe les véhicules situés sur cette zone pour réinitialiser leur compteur à 0.

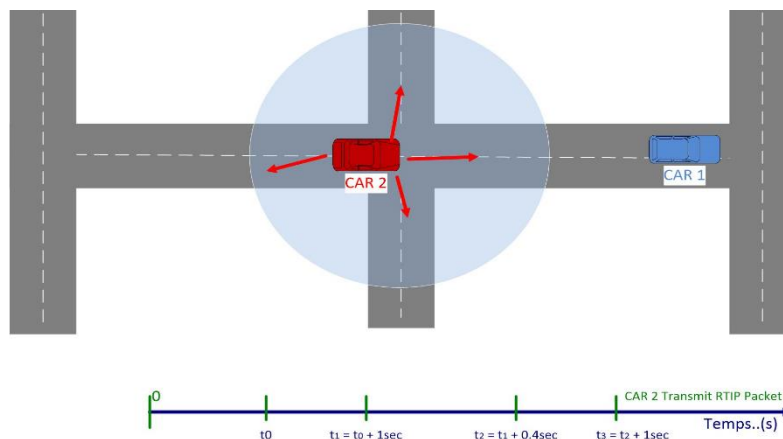


Figure 27: CAR 2 diffuse le paquet RTIP

En appliquant l'algorithme naïvement, cela semblait clair et naturel et tout marche bien, sauf qu'il y a un retard de 0.4 secondes pour envoyer le 2^{ième} paquet RTIP. Cette marge de 0.4 secondes peut grandir et devient importante à chaque fois que ce scénario se répète ce qui réduit l'efficacité du protocole.

La figure suivante représente les temps de diffusion des paquets RTIP où il est censé de les envoyer et les moments en appliquant l'algorithme dans sa version initiale.

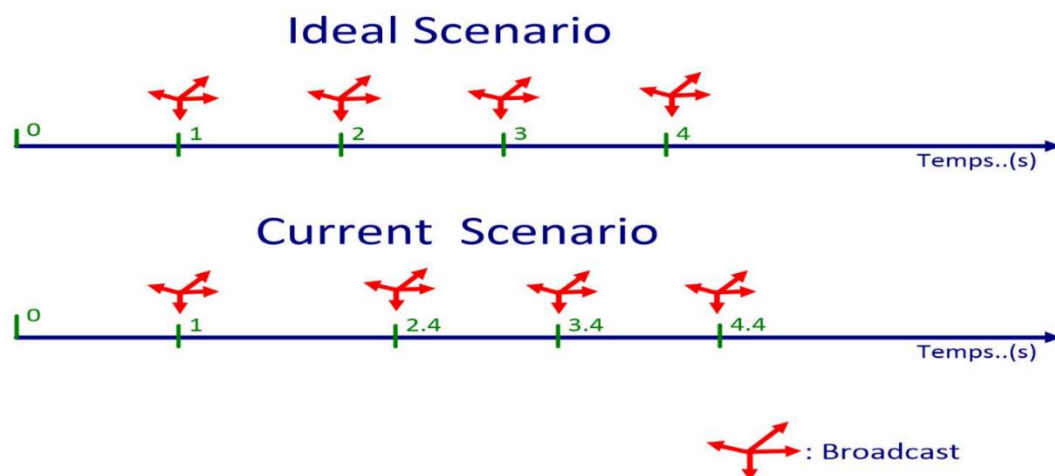


Figure 28: Problème 1 : Scénario idéal VS scénario actuel

4.3.2 Solution proposée

Pour arriver ou se rapprocher à ce scénario idéal, on a proposé la solution suivante :

- En quittant la zone d'intersection, un véhicule doit laisser la valeur de son compteur i.e : envoyer cette valeur à tous les véhicules qui situent dans cette zone.

Par ailleurs, un véhicule qui reçoit cette information, continue de compter sur la base de cette valeur si et seulement si, cette dernière est supérieure à sa valeur de compteur.

Algorithme 3 ‘ Amélioration 1 ‘

1. While (Vrai)
 2. Si (temp_actuel() – temp_dernier_rtip() >= 1) alors
 3. Début
 4. Rtip r = new rtip ()
 5. Pour toutes les intersections voisines i
 6. Début
 7. Dupliquer_rtip ()
 8. Envoyer_rtip_vers (i)
 9. Fin
 10. FinSi
-

4.3.3 Description du problème 2

A-RTIP est un protocole adapté aux environnements urbains, la densité des routes changeant fréquemment selon plusieurs critères entre autres : la période de passage (jour et nuit), l'état de la route (pavé ou creusé). Le problème suivant arrive lorsqu'une intersection reste vide un certain moment, alors qu'on a toujours besoin d'avoir des informations sur ces routes.

t0 et t1 passent exactement comme le problème précédent, voilà la suite :

- 5 secondes passent après la dernière initiation du paquet RTIP effectué par CAR 1.
- CAR1 est maintenant en dehors de la zone intersection. A ce moment, un autre véhicule vient se présenter dans cette zone, et donc : Initialiser son propre compteur

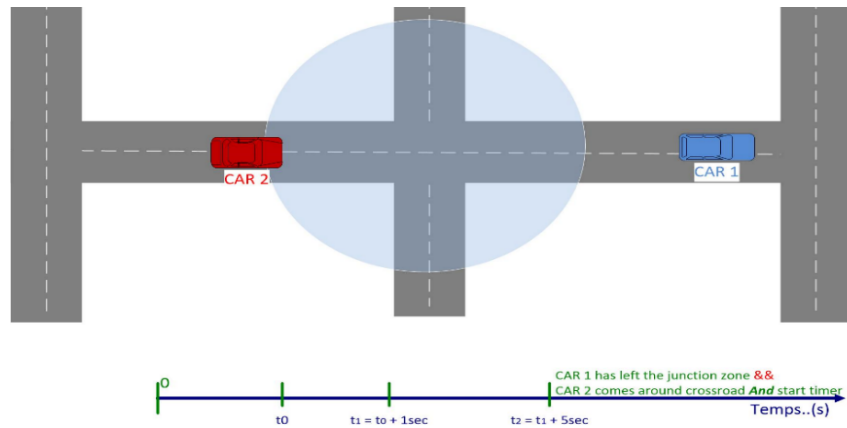


Figure 29: Arrivée de CAR 2 à la zone d'intersection

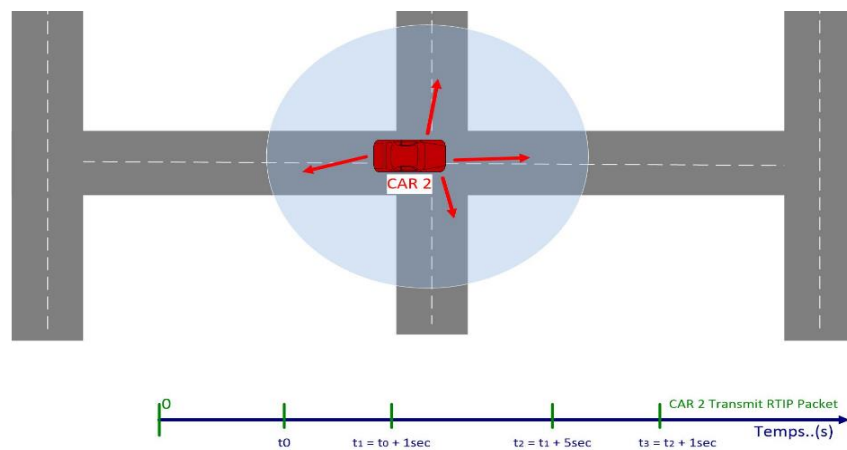


Figure 30: CAR 2 diffuse le paquet RTIP

CAR 2 qui vient d'être présent et malgré les 5 secondes sans avoir aucune information sur les 4 segments, il doit attendre 1 seconde pour lancer le paquet RTIP, puis remettre son compteur à 0 et ainsi de suite.

Voici un récapitulatif sur le scénario actuel et ce qu'il faut avoir après "une modification pour une meilleure performance".

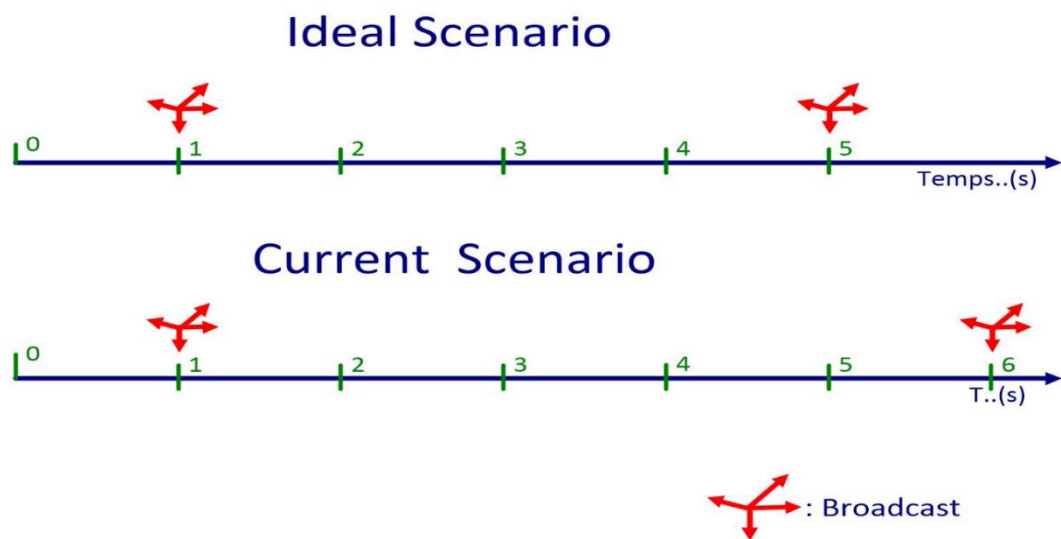


Figure 31: Problème 2 : Scénario idéal vs. Scénario actuel

4.3.4 Solution Proposée

Afin d'augmenter au maximum les performances de ce protocole, on a proposé la solution suivante :

- Dans un segment, les clusters qui se trouvent au début et à la fin de la route, ont une certaine spécificité, au fait, c'est à cause de leur emplacement à côté de la zone d'intersection.
- Notre idée consiste à utiliser un mécanisme de sorte que le véhicule qui vient de ces clusters lance directement un paquet RTIP dès qu'il rentre à la zone d'intersection.

Algorithme 4 ' Amélioration 2 '

1. A chaque changement de cellule
 2. Si (Cell_Actuel() = Premiere_Cell() OU Derniere_Cell()) alors
 3. Début
 4. Rtip r = new rtip ()
 5. Pour toutes les intersections voisines i
 6. Début
 7. Dupliquer_rtip ()
 8. Envoyer_rtip_vers (i)
 9. Fin
 10. finSi
-

4.4 Résultats et discussions

L'évaluation des performances des deux éditions du protocole A-RTIP s'est passée en fonction de rapport de livraison de paquets, (packet delivery ratio : PDR). On a utilisé (Manhattan Grid Mobiliy) comme un modèle de mobilité pour décrire le mouvement des véhicules sur la zone de simulation, aussi le protocole 802.11p pour la couche MAC. Les paramètres de simulation utilisés sont présentés dans le tableau suivant :

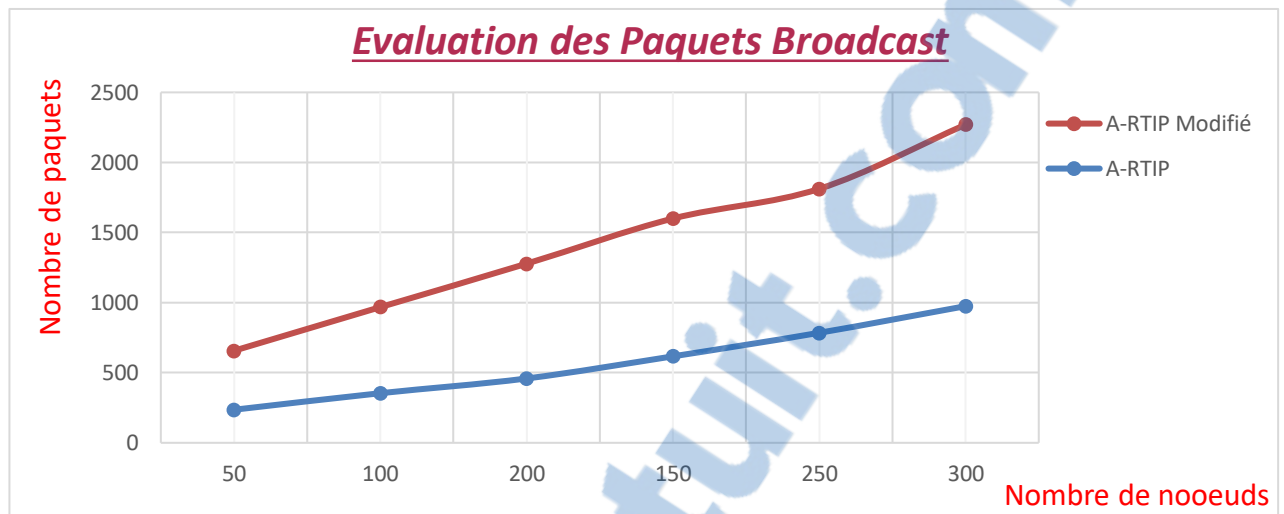
Tableau 3: Paramètres de simulation

Parameters	Values
Simulation time	100 Sec
Beacon interval	0.5 Sec
RTIP life time	0.8 Sec
MAC protocol	802.11p
Network area	1500x1500 m ²
Transmission Range	250 meters
Mobility model	Manhattan Mobility
Vehicle speed mean	50 Km/h
Channel capacity	3Mbps
Number of intersection	16
Number of roads	24
Traffic model	UDPBasicApp
Packet sending interval	0.2 sec
Packet size	128 bytes
Number of vehicles	50-400
Radio obstacle loss model	Dielectric

Le tableau suivant est un tableau récapitulatif représente la simulation dans les deux versions du protocole (*A-RTIP / A-RTIP Modifié*) dans plusieurs situations (*50 nœuds, 100 nœuds, ..., 300 nœuds*) en fonction des paramètres comme (*nbr paquet diffusion* , *nbr paquet initiation*, *taille paquet envoyé*).

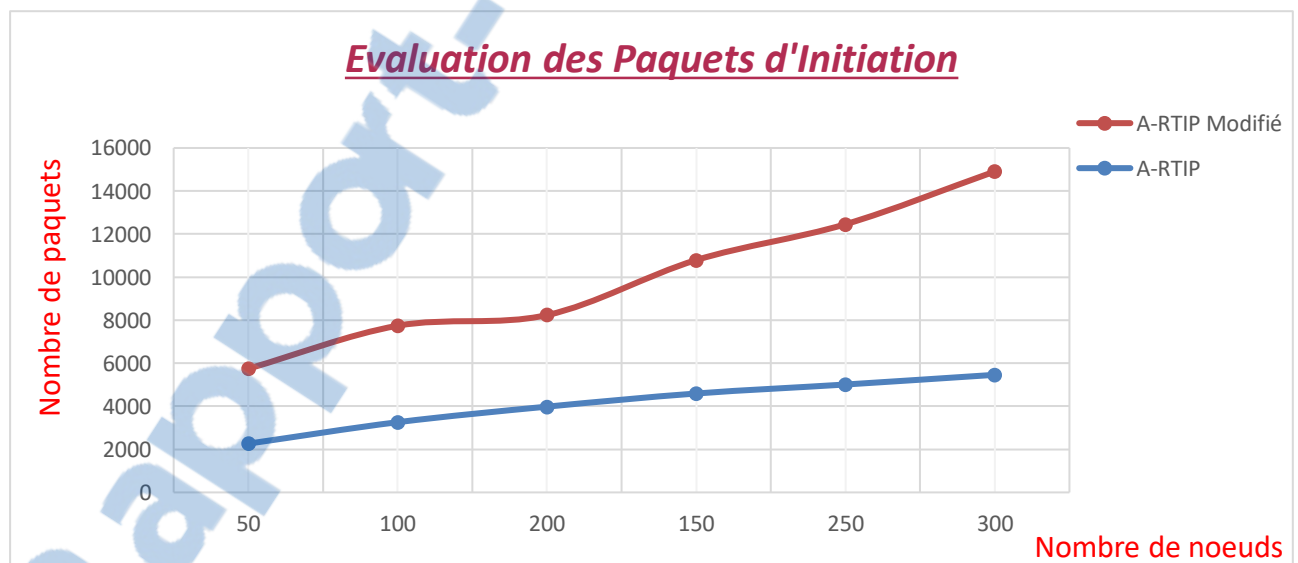
Tableau 4: Résultats obtenus sur A-RTIP et A-RTIP modifié

		<i>Statical Comparison</i>	
<i>Nœuds</i>	<i>Parameter</i>	<i>A-RTIP</i>	<i>A-RTIP modifié</i>
50	Initiation RTIP	2266	3483
	Broadcast	236	421
	Send_Size	439560	730312
	PDR (%)	28	29
100	Initiation RTIP	3261	4481
	Broadcast	354	614
	Send_Size	474893	489535
	PDR (%)	44	46
150	Initiation RTIP	3984	4253
	Broadcast	459	819
	Send_Size	509560	605423
	PDR (%)	55	58
200	Initiation RTIP	4595	6198
	Broadcast	617	983
	Send_Size	515698	549863
	PDR (%)	55	59
250	Initiation RTIP	5013	7445
	Broadcast	785	1027
	Send_Size	526147	559452
	PDR (%)	55	59
300	Initiation RTIP	5462	9446
	Broadcast	975	1295
	Send_Size	542459	987562
	PDR (%)	57	61



a) Evaluation des paquets de broadcast

Figure 32 : Evaluation des paquets broadcast dans A-RTIP et A-RTIP modifié

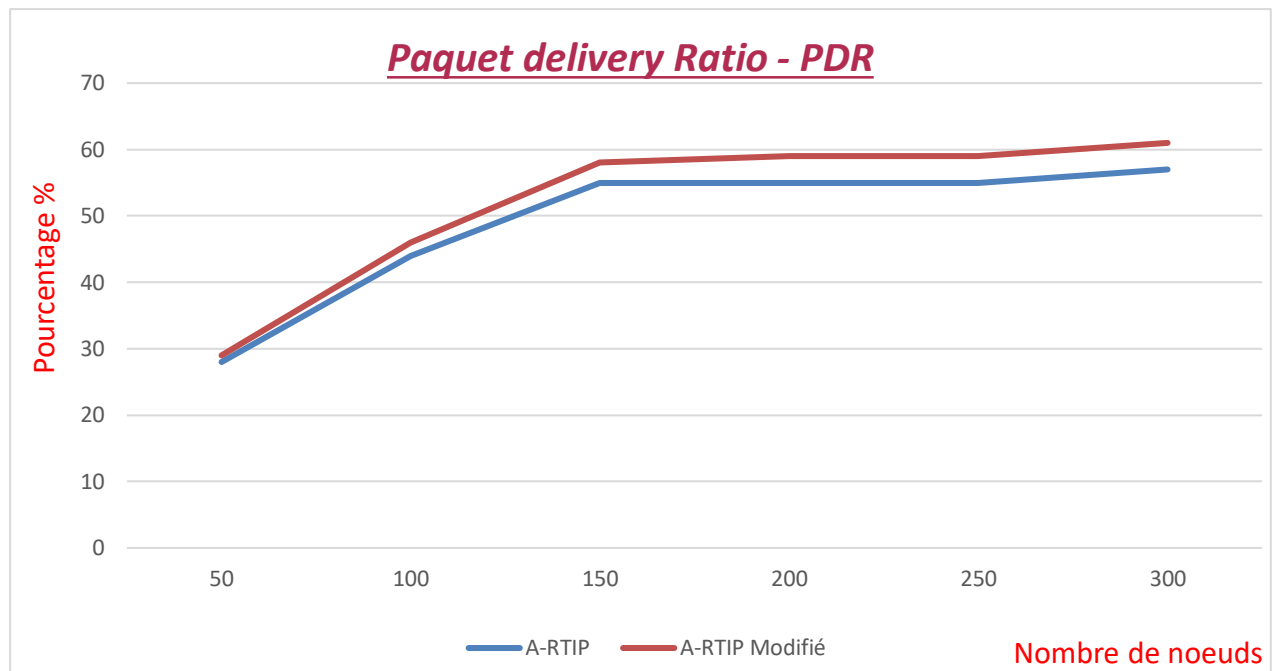


L'augmentation dans les paquets de broadcast est un signe que l'information a pu atteindre un nombre important de nœuds.

b) Evaluation des Paquets d'Initiation

Figure 33: Evaluation des paquets d'initiation dans A-RTIP et A-RTIP modifié

Une augmentation remarquable après la modification de l'algorithme 1 en intégrant la solution proposée.



La figure 34 a montré une abondance dans les paquets d'initiation RTIP, dans tout les cas étudiés, ce qui prouve qu'on a pu combler le manque trouvé dans l'ancienne version du protocole.

A partir de ces deux figures, on a calculé le taux de délivrance des paquets (PDR).

Figure 34: Evaluation de PDR dans A-RTIP et A-RTIP modifié

Une augmentation rapide et améliorée dans le A-RTIP modifié permet à ce protocole de bien exploiter les informations et achemine les paquets vers les bonnes intersections.

4.5 Conclusion

Dans ce chapitre, on a proposé une amélioration du protocole de routage A-RTIP en modifiant l'algorithme "Periodic Road Traffic Information Initiation" de la version originale.

Après évaluation des performances des deux protocoles par le biais du simulateur OMNET++ et SUMO, et dans des scénarios différents, A-RTIP modifié a montré de meilleures performances comparativement à la version originale du protocole A-RTIP.

Conclusion générale et perspectives

Le développement du réseau Internet a connu une évolution terrible avec l'arrivée de l'IoT (Internet des Objets), |Aussi le domaine de télécommunication a beaucoup évolué avec la 5G, Ces 2 technologies vont contribuer efficacement dans le développement des réseaux VANETs

Les réseaux véhiculaires sont une projection des systèmes de transports intelligents (Intelligent Transportation System – ITS). Leur objectif principal est d'améliorer la sécurité routière par l'utilisation de la technologie des communications et de l'émergence de dispositif sans fil à faible coût.

Le fait que la topologie du réseau soit de type très dynamique rend d'autant plus difficile à conserver les informations sur les nœuds, en effet le routage s'impose avec un rôle très important afin d'acheminer ces informations vers la bonne destination.

Dans notre projet, nous avons présenté quelques protocoles de routage classiques basé sur la topologie et autres protocoles de routage géographique basés sur la position géographique ; et faire une étude pour choisir le meilleur qui s'adapte aux réseaux VANETs.

Notre objectif est de proposer une amélioration du protocole A-RTIP afin d'avoir régulièrement une information correcte, exclusive et au bon moment. La modification effectuée a touché l'algorithme "Periodic Road Traffic Information Initiation" et apporte de meilleur résultat dans la phase d'évaluation par le simulateur OMNET++ et BonnMotion.

Enfin, je souhaite que ce mémoire apporte une contribution aux étudiants de notre université qui désire s'initier au domaine de la recherche dans les réseaux VANETs.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] J. Joy Winston and B. Paramasivan, A Survey on Connectivity Maintenance and Preserving Coverage for Wireless Sensor Networks, International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks (IJRRWSN), Vol. 1, No. 2, ISSN :2047-0037, pp.11-18, June 2011.
- [2] Mustafa ALI HASSOUNE (2018) . Multimedia QoS dans les réseaux sans fil (Etude de cas) thèse de Doctorat de L'Université d'Oran Mohammed Boudiaf
- [3] WALID BOUKSANI (2017) . GESTION DE LA PROTECTION DE LA VIE PRIVÉE DANS LES RESEAUX VEHICULAIRES (VANET) . MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
- [4] Hachemaoui Sabrina, Hammouche Sabrina(2016) . Evaluation des performances des protocols de routage OLSR, AODV et GPSR pour les VANETs sous NS-3 et SUMO en milieu urbain .MEMOIRE de MASTER de Université A/Mira de Bejaia
- [5] Ait Ali Kahina. (2012). Modélisation Et Etude De Performances Dans Les Réseaux VANET. Thèse de doctorat de l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. Octobre 2012.
- [6] TAMIMOU ZAKARIA, BENALLOU ZAKARYA (2015). Simulation d' un Réseau VANET dans un Environnement CLOUD . MEMOIRE de MASTER de L' université Abou Bakr Belkaid Tlemcen
- [7] Talha eTalha Sidahmed Walid, Chouchaoui Ilies, Sahel Houda, Abbad Ali, (2013), «Les réseaux véhiculaires (VANET)» Projet Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene. 2013.
- [8] Talar Atéchian (2010) . Protocole de routage géo-multipoint hybride et mécanisme d'acheminement de données pour les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs) . MEMOIRE de DOCTORAT a Institut National des Sciences Appliquées de Lyon
- [9] Commission Fédérale des Communications (FCC). <http://wireless.fcc.gov>.
- [10] Task Group p. IEEE P802.11p. Wireless access in vehicular environments (WAVE). IEEE Computer Society, 2006.
- [11] IEEE P1609.1. Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager. IEEE Computer Society, 2006.
- [12] IEEE P1609.2. Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Security Services for Applications and Management Messages. IEEE Computer Society, 2006.
- [13] IEEE P1609.3. IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services. IEEE Computer Society, 2007.
- [14] IEEE P1609.4. Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation. IEEE Computer Society, 2006.

- [15] Ayoub Benchabana et Ramla Bensaci, (2014), «Analyse des protocoles de Routages dans les reseaux VANET», Master Académique, Université Kasdi Merbah-Ouargla. 2014.
- [16] Aoues Abdelaziz, Hammoudi Meryam, Benaissa Youcef, Bensaidane nadjet, (2014-2015), «Les réseaux véhiculaires VANET», Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene. 2014-2015.
- [17] J. Petit. Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires. thèse de doctorat. In *Université Toulouse III-Paul Sabatier*, 2011.
- [18] PERKINS Charles, BHAGWAT Pravin, Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. In : ACM Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, SIGCOMM, pp. 234-244, London, UK, 1994.
- [19] v.ROYER Elizabeth , PERKINS Charles, An Implementation Study of the AODV Routing Protocol . In : IEEE Wireless Communications and Networking Conference, pp. 90-100, Chicago, IL. September 2000.
- [20] H. Menouar, M. Lenardi, and F. Filali. Movement prediction-based routing (mopr) concept for position-based routing in vehicular networks. In *Vehicular Technology Conference*, pages 2101–2105, 2007.
- [21] Dr E.W. Dijkstra. A Note on two Problems in Connexion with Graph. *Numerische Mathematik*, 1959.
- [22] M. Jerbi. Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections. Thèse de doctorat, Université d'évry val d'essonne, 2008.
- [23] J. Kakarla, S. S. Sathya, B. G. Laxmi, R. B. B. A Survey on Routing Protocols and its Issues in VANET. *International Journal of Computer Applications*, 2011.
- [24] C. Lochert, M. Mauve, H. Füßler, H. Hartenstein. Geographic routing in city scenarios. *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, 2005.
- [25] B. C. Seet, G. Liu, B. S Lee, C. H. Foh, K. J. Wong, K. Lee. A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications. Singapore, 2004.
- [26] MERAMRIA Nabil , GATTAL Fadhila. (2017) . Evaluation des protocoles de routage géographiques dans les réseaux VANETs. MEMOIRE de MASTER de Université de Larbi Tébessi-Tébessa
- [27] VanetMobiSim: Generating Realistic, J. Houarri, F. Filali, C. BonnetInstitut Eur recom, Department of Mobile Communications, B.P. 19306904 SophiaAntipolis, France.

Résumé

Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs) sont une classe spécifique de réseaux ad hoc mobiles créés par des véhicules communiquant entre eux sur des routes en milieu urbain et rural. Les protocoles de routage unicast bien connus mis en œuvre pour les MANETs (Mobile Area Networks) ne conviennent pas aux VANETs en raison de leur grande mobilité et le changement fréquent de topologie. De ce fait, le routage dans les VANETs est une tâche difficile en raison de la topologie de réseau hautement dynamique.

L'objectif principal de ce PFE est d'améliorer le protocole A-RTIP afin d'éviter les défaillances fréquentes du lien de communication, et de réduire la surcharge de communication entre les nœuds mobiles.

Mots clés : VANETs, SUMO, Le protocole A-RTIP, Routage géographique

Absract

Vehicular ad hoc networks (VANETs) are a specific class of mobile ad hoc networks created by vehicles communicating with each other on urban and rural roads. The well-known unicast routing protocols implemented for MANETs (Mobile Area Networks) are not suitable for VANETs because of their high mobility and frequent change of topology. As a result, routing in VANETs is a difficult task due to the highly dynamic network topology.

The main objective of this PFE is to improve the A-RTIP protocol in order to avoid frequent communication link failures, and to reduce the communication overhead between the mobile nodes.

Keywords: VANETs, SUMO, A-RTIP Protocol, position-based routing

ملخص

الشبكات المخصصة للمركبات (VANETs) هي فئة معينة من شبكات الجوال المخصصة التي تم إنشاؤها بواسطة المركبات التي تتواصل مع بعضها البعض على الطرق الحضرية والريفية. لا تعد بروتوكولات التوجيه أحادية الإرسال المعروفة التي يتم تنفيذها لـ MANETs (شبكات المناطق المتنقلة) مناسبة لشبكات VANET نظرًا لقدرتها على التنقل العالية وتغيير الطوبولوجيا المتكرر. نتيجة لذلك ، يعد التوجيه في VANETs مهمة صعبة نظرًا لطوبولوجيا الشبكة الديناميكية للغاية. الهدف الرئيسي من هذا PFE هو تحسين بروتوكول A-RTIP من أجل تجنب الفشل المتكرر لارتباط الاتصال ، وتقليل حمل الاتصالات بين العقد المتنقلة.

الكلمات المفتاحية: VANETs ، SUMO ، بروتوكول A-RTIP ، التوجيه الجغرافي