

Université Abou Bekr Belkaid  
Tlemcen Algérie



جامعة أبي بكر بلقايد

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEM  
FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE et ELECTRONIQUE



# MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de  
**MASTER en TELECOMMUNICATIONS**

Option : Réseaux mobiles et services

Réalisé par  
**ADJADJ Latifa**  
**BOUDJENANE Fatiha**

THEME

## **IMPACT DES MODELES DE MOBILITE SUR LES PERFORMANCES DES RESEAUX VANET**

**Soutenu en 03 Juillet 2012 devant le Jury:**

A.DJEMAI	M.A à l'Université de Tlemcen	Président
M. HADJILA	M.A à l'Université de Tlemcen	Examineur
D. MOUSSAOUI	M.A à l'Université de Tlemcen	Examineur
R. MERZOUGUI	M.C à l'Université de Tlemcen	Encadreur
B. BOUKNADIL	Doctorant à l'Université de Tlemcen	Co-Encadreur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail :

-A la mémoire de mon feu père qui n'a pas pu voir ce que je suis devenu.

« Tu me manqueras à jamais »

-A ma chère mère qui m'a transmis la vie, l'amour et la volonté, qui n'a jamais épargné un effort pour m'aider et m'encouragé.

« Veuillez trouvez en ce travail la consolation et le témoin de la patience et d'amour ».

-A mon seul frère « Mohammed », qui me soutienne au prix de mille et une privations dans mon engagement pour le développement.

-A mes chères sœurs « Nacéra » et « Karima », à qui je souhaite tout le bonheur du monde. Vous avez toujours été pour moi d'une aide très précieuse.

-A mes demi sœurs « Ammara », « Rabia » et « Houria » et leurs familles.

-A Mes grands parents, mes tantes, mes oncles et leurs familles.

- A tous mes amis : Amina, Lwiza, Sara, Rachid, Kamel et Ismail, avec lesquels j'ai partagé mes moments de joie et de bonheur

-A ma chère amie et binôme BOUDJENANE Fatiha, chez qui m'a supporté durant ces trois dernières années, et chez qui j'ai trouvé l'entente dont j'avais besoin.

« Je te dédie ce travail à toi et à toute ta famille, grands et petits ».

-A tous mes collègues de la promotion RMS : 2011-2012.

-A toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à ma réussite, et qui m'ont aidé à en arriver jusqu'à cette étape de ma vie.



Lati

**Lati**



## *Dédicace*

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, en témoignage de l'amour, du respect et de la gratitude que je leur porte.

A mon très cher mari ABDELKARIM et ses parents SALIHA et OMAR et ses frères Fayçal, FOUZI et Ryan.

A mes frères : MOHAMED et sa femme MIMOUNA ainsi que leurs enfants AICHA et MOUATASSIM BILLAH ; AHMED qui je l'aime du profond de mon cœur.

A mes chères sœurs : FATIMA qui est ma deuxième mère ; SALIMA et son mari LAKHDAR ainsi que leurs enfants YUCEF qui je l'aime beaucoup, SIRINE et ABDELWAHAB ; SIHEM et son mari MOHAMED et son fils YOUNESS ; NADIA avec son fiancé MOHAMED et AMEL qui est la plus petite de ma famille et la plus proche de moi.

A tous ceux que j'aime, et à tous ceux qui m'aiment...

Pour tous, merci infiniment.

Fatiha

**Fatiha**

## *Remerciement*

**N**ous remercions ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme le présent travail.

Ce thème a été effectué au Laboratoire de Systèmes et Technologies de l'Information et de la Communication (STIC) au Département de Télécommunication de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université Abou-bekr Belkaid Tlemcen.

Au terme de ce projet, nous tenons à remercier **Mr R. MERZOUGUI**, Maître Assistant au Département de Télécommunication de la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université de Tlemcen, notre Encadreur pour l'assistance qu'il nous a prêté, son soutien et ses conseils avisés pendant toute la durée de ce travail.

Nous remercions notre Co-Encadreur **Melle B. BOUKENADIL** Doctorante à l'Université de Tlemcen pour les conseils et l'aide qu'elle nous a prodigués.

Nos sincères remerciements à **Mr A. DJEMAI**, Maître Assistant à l'Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen, d'avoir accepté de présider le jury.

Nos respectueux remerciements sont adressés à **Mr M. HADJILA**, Maître Assistant à l'Université Abou-Bekr Belkaid de Tlemcen pour ses encouragements, ses conseils et sa modestie et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions **Mr D. MOUSSAOUI** Maître Assistant au Département de télécommunication de la faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université de Tlemcen; qu'ils trouvent ici le témoignage de mes sincères remerciements d'avoir accepté d'examiner ce travail.

- Nous voudrions remercier aussi Monsieur **C. BEN MOUSSAT** Doctorant à l'Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen pour son aide et son soutien durant la préparation de ce mémoire. Qu'il trouve ici les marques de nos reconnaissances et de nos respects.

Enfin, nous adressons nos remerciements les plus sincères à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la concrétisation de ce travail.



## *Résumé*

Les réseaux véhiculaires représentent aujourd'hui un intérêt certain pour l'industrie automobile, les opérateurs des réseaux, les organisations et même les particuliers. En effet, la mise en place d'application de ce type de réseau peut à court terme améliorer la sécurité routière, augmenter efficacement l'utilisation des routes, réduire les congestions et les embouteillages, etc.

Dans ce contexte, nous proposons d'étudier à l'aide de simulation d'impact des modèles de mobilité CityMob et MOVE sur les performances des réseaux VANETs (Vehicular Ad-Hoc NETWORK) dans un environnement urbain. Il s'agit de choisir le modèle le plus adapté pour ce type des réseaux en termes de délai, bande passante et le taux de perte.

**Mots clés :** VANET, QoS, routage, protocole, CityMob, MOVE et NS2.

## *Abstract*

Actually, Vehicular networks present a significant subject to automobile industry, network operators, organizations and individuals. Indeed, the implementation of applications of this network may in the short term to improve the road safety, effectively increasing the use of roads and reduce congestion, etc.

In this context, we propose to study and simulate the impact of mobility models CityMob and MOVE on the performance of networks VANETs (Vehicular Ad-hoc NETWORK) in an urban environment. It concerns to choose the most adapted model for such networks in terms of delay, bandwidth and loss rate.

**Key words:** VANET, QoS, routing, protocol, CityMob, MOVE and NS2.

## ملخص

تقدم شبكات المركبات حاليا اهتماما كبيرا لقطاع صناعة السيارات، مشغلي الشبكات والمؤسسات وحتى الأفراد. و في الواقع، يحتمل تنفيذ تطبيقاتها في المدى القصير لتحسين السلامة على الطرق مع زيادة فعالية استخدامها ، والحد من الازدحام والاختناقات المرورية... الخ.

في هذا السياق، نقترح دراسة ومحاكاة تأثير نماذج التنقل CityMob و MOVE على أداء شبكة VANET (مركبات الشبكة المخصصة) في البيئة الحضرية. ويتعلق الأمر باختيار النموذج المناسب لمثل هذه الشبكات من حيث الزمن، الشريط النافذ، و معدل الضياع.

**كلمات البحث :** VANET ، جودة الخدمة، التوجيه، بروتوكول، CityMob ، MOVE و NS2.

# Table des matières

Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Table des figures	
Liste des tableaux	
Glossaire	
Introduction générale.....	1

## Chapitre I : Généralités sur les réseaux VANETS

I.1	Introduction.....	5
I.2	Réseaux sans fils.....	5
I.2.1	Mobilité.....	5
I.2.2	Réseau sans fil.....	6
I.2.3	Réseaux Ad hoc.....	6
I.2.3.1	Définition.....	6
I.2.3.2	Fonctionnement.....	7
I.2.3.3	Caractéristique.....	8
I.3	Réseaux VANETS.....	10
I.3.1	Définition.....	10
I.3.2	Propriétés.....	11
I.3.3	Types de communication.....	12
I.3.3.1	Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).....	12
I.3.3.2	Mode de communication Véhicule-à-Infrastructure (V2I).....	13
I.3.3.3	Mode de communication hybride.....	13
I.3.4	Sécurité.....	13
I.3.4.1	Attaques spécifiques sur les VANETS.....	14
I.3.4.2	éléments de base de la sécurité dans les VANETS.....	16
I.3.4.3	Systèmes de détection d'instruction.....	16
I.3.4.4	Systèmes de réputation.....	17
I.3.4.5	Confidentialité dans les VANETS.....	18
I.3.5	Applications des réseaux VANETS.....	18
I.3.5.1	Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules Coopératifs.....	18
I.3.5.2	Applications pour la sécurité routière.....	18
I.3.5.3	Applications de confort.....	21
I.3.6	Avantages et inconvénients.....	22
I.4	Conclusion.....	23

## *Chapitre II : Routage et qualité de service dans les VANETs*

II.1	Introduction.....	25
II.2	Routage.....	25
II.2.1	Définition.....	25
II.2.2	Routage dans les réseaux Ad hoc.....	26
II.2.2.1	Protocoles réactifs .....	26
II.2.2.2	Protocoles proactifs .....	27
II.2.2.3	Protocoles hybrides .....	27
II.2.3	Routage dans les réseaux VANETs.....	28
II.2.3.1	Routage basé sur la topologie.....	34
II.2.3.2	Routage basé sur les positions.....	35
II.3	Qualité de service.....	35
II.3.1	Définition.....	35
II.3.2	Paramètres.....	37
II.3.3	Classe de service.....	38
II.3.4	Modèles de qualité de services.....	38
II.3.4.1	Intégration de services (IntServ).....	39
II.3.4.2	Différenciation de service (DiffServ).....	40
II.4	Conclusion.....	

## *Chapitre III : Simulation et interprétation des résultats*

III.1	Objectif.....	42
III.2	Présentation des simulateurs.....	42
III.2.1	Sumo (Simulation of Urbain Mobility) .....	42
III.2.2	NS2 (Network Simulator).....	43
III.2.2.1	Choix de NS2.....	43
III.2.2.2	Présentation du simulateur.....	43
III.2.2.3	Organisation du simulateur.....	44
III.2.2.4	Modèle de réseau sous NS2.....	45
III.2.3	Différents modèles de mobilité.....	46
III.2.3.1	Modèle de mobilité sous NS2.....	46
III.2.3.2	Modèle de mobilité pour VANETs.....	47
III.3	Méthodologie de notre simulation.....	48
III.3.1	Environnement de simulation.....	49
III.3.2	Scénarios de simulation.....	56
III.4	Conclusion.....	62

Conclusion générale.....64

Bibliographie

# *Liste des figures*

## *Chapitre I : Principes des réseaux VANETS*

<b>Figure I.1</b> : Exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc.....	<b>7</b>
<b>Figure I.2</b> : Réseau ad-hoc multi-sauts.....	<b>8</b>
<b>Figure I.3</b> : Les éléments constituant le véhicule intelligent.....	<b>10</b>
<b>Figure I.4</b> : Modes de communication dans les VANETS.....	<b>12</b>
<b>Figure I.5</b> : Attaques par l'envoi des messages erronés.....	<b>13</b>
<b>Figure I.6</b> : Déni de service par brouillage du canal radio.....	<b>14</b>
<b>Figure I.7</b> : Identification non autorisé.....	<b>14</b>
<b>Figure I.8</b> : Véhicule en panne.....	<b>18</b>
<b>Figure I.9</b> : Risque de collision.....	<b>19</b>
<b>Figure I.10</b> : Travaux sur les routes.....	<b>19</b>
<b>Figure I.11</b> : Accès à Internet.....	<b>20</b>
<b>Figure I.12</b> : Parking intelligent.....	<b>21</b>
<b>Figure I.12</b> : Parking intelligent.....	<b>22</b>

## *Chapitre II : Routage et qualité de service dans les VANETS*

<b>Figure II.1</b> : Exemple de routage de la source vers la destination.....	<b>25</b>
<b>Figure II.2</b> : Types des protocoles de routage Ad hoc.....	<b>26</b>
<b>Figure II.3</b> : Classification des protocoles de routage Ad hoc.....	<b>28</b>
<b>Figure II.4</b> : Taxonomie des routages dans les réseaux VANETS.....	<b>29</b>
<b>Figure II.5</b> : La découverte de chemin dans le DSR.....	<b>32</b>

<b>Figure II.6</b> : Les deux requêtes RREQ et RREP utilisés dans le protocole AODV .....	<b>34</b>
<b>Figure II.7</b> : Principe général du modèle à intégration de service.....	<b>39</b>
<b>Figure II.8</b> : Eléments constitutifs d'un réseau DiffServ.....	<b>40</b>

### *Chapitre III : Simulation et interprétation*

<b>Figure III.1</b> : Capture d'écran de SUMO.....	<b>42</b>
<b>Figure III.2</b> : Flot de simulation avec NS2.....	<b>44</b>
<b>Figure III.3</b> : Interface du modèle de mobilité CityMob.....	<b>50</b>
<b>Figure III.4</b> : Interface du modèle de mobilité MOVE.....	<b>52</b>
<b>Figure III.5</b> : Interface de MOVE (Mobility model).....	<b>53</b>
<b>Figure III.6</b> : Interface de MOVE (Traffic Model).....	<b>55</b>
<b>Figure III.7</b> : Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>57</b>
<b>Figure III.8</b> : Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>57</b>
<b>Figure III.9</b> : Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>58</b>
<b>Figure III.10</b> : Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et MOVE.....	<b>59</b>
<b>Figure III.11</b> : Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move	<b>59</b>
<b>Figure III.12</b> : Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>60</b>
<b>Figure III.13</b> : Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>60</b>
<b>Figure III.14</b> : Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>61</b>
<b>Figure III.15</b> : Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.....	<b>61</b>

# *Liste des tableaux*

## *Chapitre III : Simulation et interprétation*

<b>Tableau III.1</b> : Paramètres de simulation.....	<b>49</b>
<b>Tableau III.2</b> : Paramètres de générateur de trafic.....	<b>50</b>
<b>Tableau III.3</b> : Paramètres de générateur de modèle de mobilité (CityMob).....	<b>51</b>

# *Glossaire*

**ABR** : Available Bit Rate.

**AODV** : Ad-Hoc On demand Distance Vector.

**BMW** : Bayerische Motoren Werke.

**C2C** : Car to Car.

**CBR** : Constant bit

**CGSR** : Cluster-head Gateway Switch Routing.

**CityMob** : City Mobility.

**CoS** : Class of Services.

**CSMA/CA** : Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.

**CSMA/CD** : Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection.

**DiffServ** : Différenciation de service.

**DREAM** : Distance Routing Effect Algorithm for Mobility.

**DRG** : Dorsal Root Ganglion.

**DRR** : Disaster Risk Reductio.

**DS** : Sous réseaux.

**DSDV** : Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector.

**DSR** : Dynamic Source Routing.

**DVMRP** : Distance Vector Multicast Routing Protocol.

**FTP** : File Transport Protocol.

**GBRP** : Greedy Back Up Routing Protocol.

**GPS** : Global Positioning System.

**GPSR** : Greedy Perimeter Coordinator Routage.

**GSM** : Global System for Mobile.

**HOLSR** : Hierarchical Optimized Link State Routing.

**HSR** : Hierarchical State Routing.

**IDM** : Intelligent Driver Model.

**IEEE** : Institute of Electrical and Electronics Engineers.

**IETF** : Internet Engineering Task Force.

**IntServ** : intégration de service.

**IP** : Internet Protocol.

**IP TV** : Internet Protocol for television.

**ISO** : Open Systems Interconnection.

**ITS** : Intelligent Transportation System.

**IVC** : Inter-Vehicle Communications.

**LANMAR** : Landmark Routing Protocol.

**LAR** : Location-Aided Routing.

**LBM** : Location Based Multicast.

**LMR** : limite maximales de résidus.

**MAC** : Medium Access Card.

**MANET** : Mobile Ad-Hoc NETWORK.

**MGF** : Mechano Growth Factor

**MMWN** : multime- dia support for mobile Wireless Networks.

**MORA** : Movement –based Routing Algorithm.

**MOVE** : Mobility generator for of Realistic Simulation for VANET.

**MTBF** : Mean Time Between Failures.

**MTTR** : MeanTime To Repair.

**NAM** : Network Animator.

**NS2** : Network Simulator

**OLSR** : Optimized Link State Routing.

**PC** : Personal Computer.

**PDA** : Portable Data

**PIM** : Protocol-Independent Multicast.

**PTSM** : Probabilistic Traffic Sign Model.

**QoS** : Quality of Service.

**RDM** : Random Direction Model.

**RED** : Random Early Detection.

**RREP** : Route REPlay.

**RREQ** : Route REQest.

**RSU** : Road Side Units.

**RSVP** : Ressource reSerVation Protocol.

**RTP** : Real-time Transfert Protocol.

**RWM** : Random Waypoint Model.

**SDI** : Serial Digital Interface.

**SFQ** : Stochastic Fairness Queueing.

**SHARP** : Sorafenib HCC Assessment Randomized Protocol.

**SN** : Sequence Number.

**SRM** : Supplier Relationship Management.

**SSA** : SouS –direction des Audits de sécurité et de sûreté.

**SSM** : Stop Sign Model.

**STAR** : Smart Technologies for Amator Radio.

**SUMO** : Simulation of Urbain Mobility.

**TCL** : Tools Command Language.

**TCP** : Transmission Control Protocol.

**TK** : Tool Kit.

**TLM** : Traffic Light Model.

**TORA** : Temporary Ordering Routing Algorithm.

**TPD** : Tamper-Proof Device.

**UDP** : User Datagram Protocol.

**V2I** : Véhicule to Infrastructure.

**V2V** : Véhicule to Véhicule.

**VANET** : Vehicle Ad-Hoc NETWORK.

**VoD** : Vidéo à la Demande.

**Wi-Fi** : Wireless Fidelity.

**WIMAX** : Worldwide Interoperability for Microwave Access.

**WRP** : Works Racing Part.

**ZHLS** : Zone-Based Hierarchical Link State.

**ZRP** : Zone Routing Protocol.



*Introduction générale*

## ***Introduction générale***

Le développement technologique qu'a vu le monde d'aujourd'hui a touché tous les domaines, particulièrement le secteur de la communication qui connaît une évolution considérable par l'apparition de la technologie sans-fil. Cette évolution est due essentiellement aux besoins actuels en termes de disponibilité et d'accès aux données à n'importe quel moment, et à n'importe où.

De nombreuses applications ont depuis vu le jour afin d'améliorer notre vie quotidienne : dans nos maisons, nos sociétés, nos voitures, etc. Une des applications de ce concept consiste à renforcer la prévention routière et à munir nos voitures et nos routes de capacités permettant de rendre la route plus sûre (les informations sur le trafic, les accidents, les dangers, les déviations possibles,...), améliorer le confort des passagers et rendre le temps passé sur les routes plus conviviale (accès à Internet, jeux interactifs entre les passagers des véhicules proches, service de chat.....). Un exemple typique de ces applications, est le système de transport intelligent (ITS, Intelligent Transportation System), dont les objectifs principaux sont:

- Amélioration de la sécurité des déplacements.
- Amélioration de l'efficacité globale du système de transport en réduisant les temps de parcours et les congestions.
- Amélioration du confort de l'utilisateur en lui fournissant une multitude de services d'information, d'aide à la décision, de guidage et d'accès à Internet.

Ce système permet alors des communications inter-véhicules selon deux modes: V2V ou encore V2I. Ce qui engendre un volume d'échange de données important pour ces types de transactions (requête/réponses). En effet, la problématique de la qualité de service des applications déployées dans des environnements fortement dynamiques, doit être assurée au niveau de la couche réseau et application. Au niveau de la première couche on doit garantir: l'acheminement de bout en bout des paquets, la réduction de la perte des paquets ainsi que la réduction des délais de transmission. En revanche, la QoS au niveau applicatif concerne la gestion des données et l'usage approprié de la bande passante partagée.

Dans le cadre du projet « L'étude d'impact des modèles de mobilité sur les performances des réseaux VANETs », nous proposons d'étudier et simuler des scénarios dans les réseaux VANETs sous des conditions urbaines qui portent sur les métriques de QoS pour chaque protocole de routage (AODV, DSR et DSDV). Il s'agit d'étudier l'impact des modèles de mobilités sur les performances des réseaux VANETs au niveau d'une ville. Pour cela, deux modèles de mobilité ont été intégrés sous NS2: CityMob et MOVE. Ces deux modèles de mobilité doivent prendre en considération les contraintes de la mobilité véhiculaires, pour que la simulation soit proche de la réalité. Ils doivent ainsi intégrer le plus des informations

possibles qui nous aident à bien étudier et simuler les paramètres en question (la bande passante, le délai et le taux de perte) et par conséquent d'avoir des résultats pertinentes.

Le travail mené dans ce cadre et les résultats obtenus sont regroupés dans un mémoire organisé de la façon suivante:

Dans le premier chapitre, nous donnons une vue générale sur les réseaux sans fils et les différents concepts liées à ce type de réseaux. Nous abordons aussi les réseaux Ad Hoc, et en particulier les réseaux Ad Hoc véhiculaires (VANETs). Nous décrivons les architectures et les technologies de communication sans fil potentielles pour les réseaux de véhicules, ainsi leurs caractéristiques et leurs diverses applications.

Le deuxième chapitre sera consacré aux mécanismes de routage et de qualité de service dans les réseaux Ad Hoc. La première partie de ce chapitre détaille les approches (les protocoles) qui existent concernant le routage. Tandis que la deuxième partie s'intéresse à la qualité de service dans le contexte des réseaux ad hoc.

Le troisième chapitre regroupe nos simulations, interprétations et les discussions concernant les résultats obtenus sous NS2.

# chapitre 01 : Principes des réseaux VANETS

## *SOMMAIRE*

- I.1 Introduction**
- I.2 Réseaux sans fils**
  - I.2.1 Mobilité**
  - I.2.2 Réseau sans fil**
  - I.2.3 Réseaux Ad hoc**
    - I.2.3.1 Définition**
    - I.2.3.2 Fonctionnement**
    - I.2.3.3 Caractéristiques**
- I.3 Réseaux VANETS**
  - I.3.1 Définition**
  - I.3.2 Propriétés**
  - I.3.3 Types de communication**
  - I.3.4 Sécurité**
  - I.3.5 Applications**
  - I.3.6 Avantages et inconvénients**
- I.4 Conclusion**

## **I.1 Introduction**

Avec la forte présence des dispositifs mobiles et des réseaux sans fil, de nouveaux systèmes ont été proposés afin d'améliorer la disponibilité de l'information. Au départ, les communications se basaient sur des infrastructures (ex. réseau GSM). Puis, avec les nouveaux besoins de déployer des réseaux mobiles d'une manière rapide et simple, telles les applications militaires ou de secours, une autre famille est apparue: les réseaux mobiles ad hoc ou spontanés (MANET). Ces derniers ne nécessitent aucune infrastructure et peuvent trouver application dans plusieurs domaines tels que: militaire, exploration ou opérations de secours...

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs) peuvent être considérés comme une application potentielle des réseaux ad hoc, à travers lesquels plusieurs services ont été proposés: amélioration de la sécurité routière et confort du transport routier.

Les VANETs sont des réseaux fortement dynamiques, des changements de topologie du réseau arrivent fréquemment en raison de la haute mobilité des nœuds. Tous les nœuds partagent le même canal menant à la congestion dans des réseaux très denses. La nature décentralisée de ces réseaux mène au besoin de nouveaux systèmes et protocoles de diffusion de l'information. De plus, ces réseaux ne se contenteront plus d'améliorer la sécurité routière seulement, mais ils permettront aussi d'offrir de nouveaux services aux usagers des routes rendant la route plus agréable.

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les réseaux ad hoc de manière générale, puis, nous aborderons les réseaux VANETs en précisant leurs propriétés, leurs domaines d'applications et les modes de communication existants; ainsi que les mécanismes de base tels que la sécurité et la confidentialité qui représentent les facteurs clés des communications véhiculaires.

## **I.2 Réseaux sans fils**

### **I.2.1 Mobilité**

Le terme mobilité est la capacité ou la facilité d'un objet ou d'une personne à se déplacer par rapport à un lieu, à une position ou à un ensemble d'objets de même nature.

Dans le domaine de réseaux, la mobilité se traduit par la possibilité que certaines entités peuvent passer d'une cellule à une autre sans perdre la liaison [1].

### 1.2.2 Réseau sans fil

Un réseau sans fils est un réseau dans lequel les machines participantes peuvent communiquer sans liaison filaire.

Les réseaux sans fils sont basés sur des liaisons utilisant des ondes radioélectriques (radio ou infrarouge) à la place des câbles habituels (coaxial, pair torsadée ou fibre optique).

Dans ce type de réseau, les utilisateurs ont la possibilité de se déplacer dans un certain périmètre de couverture géographique sans perdre le signal [2].

### 1.2.3 Réseaux Ad hoc

#### 1.2.3.1 Définition

Les réseaux ad hoc sont des réseaux sans-fil capables de s'organiser spontanément et de manière autonome dans l'environnement dans lequel ils sont déployés sans infrastructure définie préalablement. La tâche de la gestion du réseau est répartie sur l'ensemble d'entités communicantes par liaison sans-fil, ces entités sont souvent appelées «nœuds». Dans ces réseaux, les entités envisagées sont des terminaux légers et de taille réduite qui fonctionnent sur batterie, donc elles ont des capacités de traitement et de mémoire limitées [3].

#### 1.2.3.2 Fonctionnement

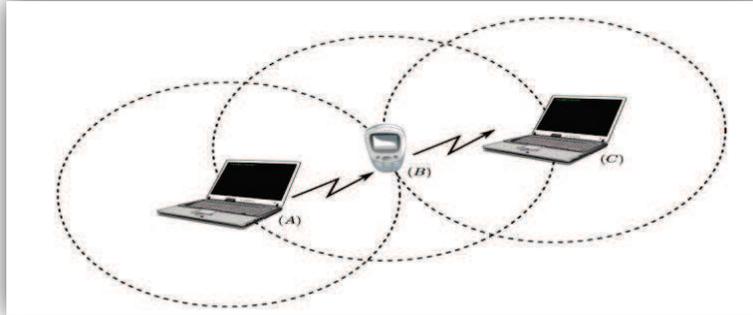
Les réseaux mobiles ad hoc sont des réseaux qui vont développer énormément dans l'avenir. Ils combinent à la fois [4] :

- La mobilité par l'utilisation de connexion sans fils et de terminaux mobiles (portables, PDA, Tablet PC, etc.)
- La spontanéité et l'évolutivité, par le mouvement des terminaux qui les constituent et l'utilisation qui en est faite par les utilisateurs.

Chaque entité communique directement avec sa voisine. Pour communiquer avec d'autres entités, il lui est nécessaire de faire passer ses données par d'autres qui se chargeront de les acheminer. Pour cela, il est d'abord primordial que les entités se situent les unes par rapport aux autres, et soient capables de construire des routes entre elles: c'est le rôle du protocole de routage.

Ainsi, le fonctionnement d'un réseau ad-hoc le différencie notablement d'un réseau comme le réseau GSM, les réseaux Wi-Fi avec des points d'accès: là où une ou plusieurs stations de base sont nécessaires à la plupart des communications entre les différents nœuds du réseau (mode Infrastructure), les réseaux ad-hoc s'organisent d'eux-mêmes et chaque entité peut jouer différents rôles.

Les réseaux ad hoc, dans leur configuration mobile, sont connus sous le nom de MANET (pour Mobile Ad-hoc NETworks).



**Figure I.1:** Exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc [5].

La figure I.1 montre un exemple de transmission d'un message dans un réseau ad hoc entre deux équipements distants A et C, comme ces deux derniers ne peuvent pas communiquer directement à cause de la portée limitée de supports de transmission utilisés, alors ils utilisent l'équipement B comme relai.

Les principaux problèmes des réseaux ad-hoc, et les problématiques à gérer sont:

- Absence d'infrastructure ;
- Bande passante limitée ;
- Perte de données ;
- Perte de routes ;
- Contraintes de consommation d'énergie ;
- Sécurité limitée ;
- Erreur de transmission ;
- Interférences ;
- Nœuds cachés ;
- Auto-configuration et détection d'adresses dupliquées ;

### 1.2.3.3 Caractéristiques

Les réseaux mobiles Ad hoc présentent plusieurs caractéristiques, à savoir :

- **Liens asymétriques :**

En théorie, les liens sont symétriques, et l'affaiblissement est inversement proportionnel à la distance entre l'émetteur et le récepteur. En pratique, les liens sont asymétriques à cause de déphasages dû aux multiples réflexions du signal sur différents obstacles, de l'évanouissement (fading). On peut ainsi obtenir une bonne réception dans un sens, une

mauvaise dans l'autre. La route inverse n'est pas forcément la même que la route directe. Pour le maintien des liens, il faut une mise en place d'une signalisation beaucoup plus importante que celle des réseaux fixes.

- **Interférences :**

L'interface radio est partagée de tous les pairs, chaque donnée est réceptionnée par tous les nœuds, à des puissances variables. Les interférences s'ajoutent au bruit et détériorent les communications, en augmentant le taux d'erreur. La transmission des paquets non récupérables diminue le débit de la liaison.

- **Redondance :**

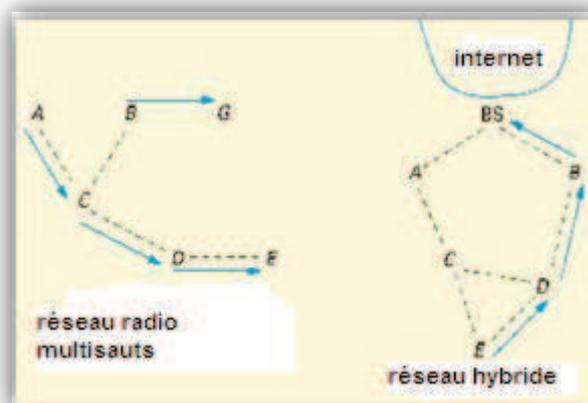
La diffusion à tous les voisins engendre une certaine redondance car en général la destination est un voisin en particulier.

- **Mobilité des nœuds :**

La topologie du réseau est dynamique et les routes sont modifiées assez fréquemment. Un routage dynamique est alors nécessaire mais il demande d'énormes ressources pour véhiculer la signalisation indispensable aux mouvements des nœuds. Jusqu'à présent, la plupart des routages ad hoc se sont montrés plutôt inaptes à faire face à une forte mobilité. C'est une des problématiques au cœur des travaux de recherche. La modification de la topologie du réseau transforme le tracé des routes lors des échanges de paquets.

- **Routage :**

Ainsi pour permettre une communication de bout en bout avec plusieurs sauts (Figure I.2), il est nécessaire d'utiliser un protocole de routage dynamique adapté à ce type de réseau. Deux approches sont alors possibles, l'approche proactive et l'approche réactive. La première approche consiste à maintenir des connexions en permanence entre les nœuds, c'est ce que fait le protocole OLSR. A l'inverse, l'approche réactive recherche un chemin seulement à la demande, par exemple AODV. On trouve aussi des routages de type hiérarchique et de type géographique, en particulier dans les réseaux de véhicules.



+

Figure I.2 : Réseau ad-hoc multi-sauts [6].

- **Sécurité :**

Les réseaux Ad-Hoc soulèvent de nombreux problèmes de sécurité. Ces problèmes sont dus essentiellement aux protocoles de routage, l'environnement sans fil et à la nature de ces réseaux.

- **Qualité de Service (QoS) :**

La mobilité des nœuds dans les réseaux Ad-Hoc rend très complexe la tâche d'offrir une bonne qualité de service.

- **Mobilité :**

La mobilité a un impact très important sur les protocoles de routage, la topologie et les performances du réseau, les services et la QoS.

### **1.3 Les réseaux VANETs**

#### **1.3.1 Définition**

Dans les années 2000, les réseaux ad hoc mobiles ont été déployés en particulier dans des environnements fortement dynamiques tels que les réseaux inter-véhicules (VANETs - Vehicular Ad hoc Networks).

Les premières applications conçues pour les VANETs ont concerné la sécurité routière (systèmes de transports intelligents (STI)). L'objectif majeur de ces applications est de fournir aux véhicules présents dans le réseau, des informations utiles concernant l'état de la circulation routière (info trafic). Actuellement, les réseaux VANETs attirent l'attention de grands constructeurs d'automobiles comme Volvo, BMW, Renault, Mercedes-Benz et beaucoup d'autres. Dans ce contexte, le consortium Car2Car (C2C) [7], réunissant la plupart des constructeurs d'automobiles européens, travaille pour définir et promouvoir des standards pour les technologies sans fil de véhicules.

Un réseau ad hoc de véhicules ou VANET est constitué de véhicules capables de s'échanger des informations par voie radio dans le but d'améliorer la sécurité routière ou de permettre l'accès à Internet pour les passagers.

Par rapport à un réseau ad hoc classique, le VANET se différencie par une forte mobilité des nœuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique.

Pour la mise en place d'un tel réseau, certains équipements électroniques doivent être installés au sein de véhicules (figure I.3), tel: les dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement.

Plusieurs technologies peuvent être mises en œuvre pour l'établissement des communications véhiculaires, tel : les réseaux sans-fil de type 802.11, WIMAX, Bluetooth. Cependant, il existe une nouvelle famille de standards qui sont en cours de standardisation par l'équipe de travail IEEE1609.

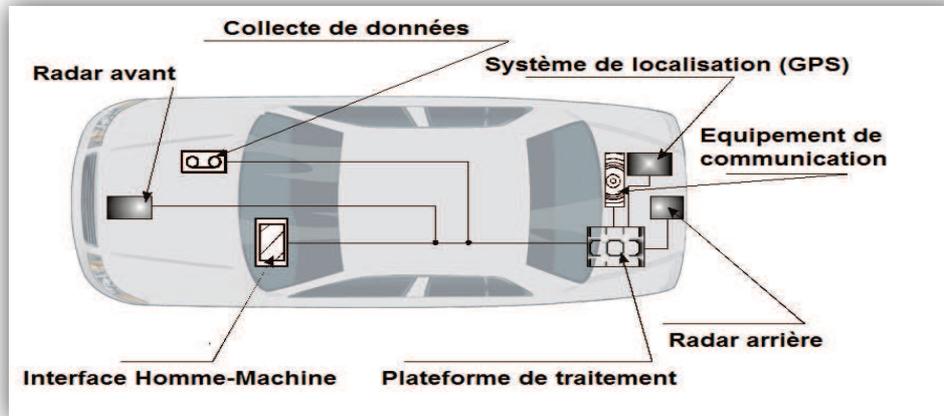


Figure I.3 : Les éléments constituant le véhicule intelligent [8].

### 1.3.2 Propriétés

Faisant partie intégrante d'un système ITS, les communications inter-véhicules brassent les technologies et les disciplines suivantes :

- **Collecte d'information et perception de l'environnement proche :**

En utilisant différents capteurs (conditions météorologiques, état de la route, état de la voiture, pollution et autres) et des caméras, le conducteur peut à bord de son véhicule disposer d'un certain nombre d'informations et d'une meilleure visibilité lui permettant ainsi de réagir d'une manière adéquate aux changements de son environnement proche.

- **Traitement :**

Avec une grande capacité de traitement à bord, les véhicules de nos jours sont dotés d'intelligence et sont capables d'interpréter les informations collectées pour ensuite aider le conducteur à prendre une décision (particulièrement dans les systèmes d'aide à la conduite).

- **Stockage :**

Un grand espace de stockage est nécessaire afin de disposer des différentes classes et types d'information. Ces structures de données seront alimentées et mises à jour en fonction des événements et décisions du système de communication. A noter que dans un réseau de véhicules, l'énergie et l'espace de stockage sont suffisamment disponibles [9].

- **Routage et communication :**

Pour l'échange et la diffusion d'information dans le réseau lui-même ou vers d'autres types de réseaux (IP ou cellulaire par exemple). Ce qui permet ainsi d'augmenter le périmètre de précaution grâce à une perception étendue de l'environnement et ainsi une meilleure anticipation des difficultés de conduite [8].

- **Sécurité et anonymat dans le réseau :**

Le problème de sécurité de la communication est important, par exemple, un message d'urgence doit pouvoir être validé ou ignoré s'il est envoyé par un nœud malicieux. Un mécanisme d'anonymat doit pouvoir assurer le respect de la vie privée [10].

- **Le modèle de mobilité:**

Plusieurs facteurs peuvent affecter la mobilité dans ces réseaux comme les infrastructures routières; par exemple : route, autoroute, panneaux de signalisation [11]. En outre, la mobilité dans les VANETs est liée directement au comportement des conducteurs et leurs réactions face à des obstacles ou des situations différentes et complexes rencontrées; par exemple: les heures d'embouteillage, les accidents,...

### 1.3.3 Types de communication

Dans ce type de réseaux on peut classer les communications véhiculaires en trois modes, les communications Véhicule-à-Véhicule (V2V), les communications Véhicule-à-Infrastructure (V2I) (figure 1.4) et les communications hybrides.

#### 1.3.3.1 Mode de communication Véhicule-à-Véhicule (V2V)

Ce mode de communication fonctionne suivant une architecture décentralisée, et représente un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles, Il est basé sur la simple communication inter-véhicules ne nécessitant pas une infrastructure. 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 supports de communication utilisés sont caractérisés par une petite latence et un grand débit de transmission. Les communications V2V sont très efficaces pour le transfert des informations concernant les services liés à la sécurité routière, mais elles ne garantissent pas une connectivité permanente entre les véhicules [5].

### 1.3.3.2 Mode de communication Véhicule-à Infrastructure (V2I)

Ce mode de communication permet une meilleure utilisation des ressources partagées et démultiplie les services fournis (par exemple : accès à Internet, échange de données de voiture-à domicile, communications de voiture-à-garage de réparation pour le diagnostic distant, ...etc.) grâce à des points d'accès RSU (*Road Side Units*) déployés aux bords des routes; ce mode est inadéquat pour les applications liées à la sécurité routière car les réseaux à infrastructure ne sont pas performants quant aux délais d'acheminement.

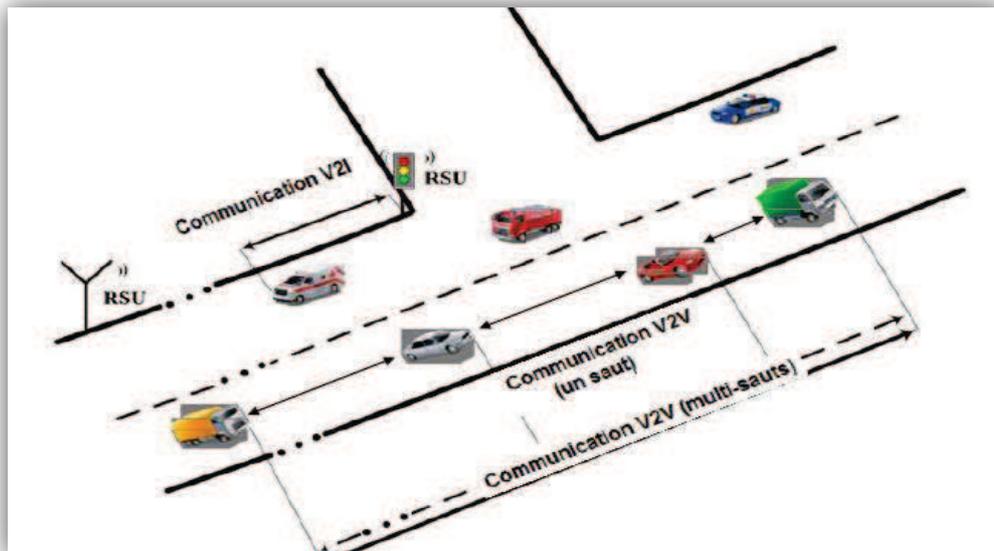


Figure I.4 : Modes de communication dans les VANETs [5].

### 1.3.3.3 Mode de communication hybride

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride très intéressante. En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation de véhicules comme relai permet d'étendre cette distance. Dans un but économique en évitant de multiplier les bornes à chaque coin de rue, l'utilisation de sauts par véhicules intermédiaires prend toute son importance [12].

### 1.3.4 Sécurité

Les communications transitant dans un réseau de véhicules ainsi que les informations concernant les véhicules et leurs conducteurs doivent être protégées et sécurisées pour assurer le bon fonctionnement d'un système de transport intelligent. La sensibilité des données véhiculées par un réseau VANET démontre un besoin fort en sécurité. En effet, l'importance de la sécurité dans ce contexte est cruciale vue les conséquences critiques qui résultent d'une violation ou d'une attaque. De plus, avec un environnement fortement dynamique caractérisé par des arrivées et des départs de voitures quasi instantanés, et des

connexions de courtes durées, le déploiement d'une solution de sécurité doit faire face à des contraintes et configurations spécifiques.

#### 1.3.4.1 Attaques spécifiques sur les VANETs

En raison de l'impossibilité d'envisager toutes les attaques possibles dans les réseaux véhiculaires, ici en va voir quelques exemples parmi les plus significatifs:

- **L'injection des messages erronés:**

Dans cette attaque, l'entité malveillante porte atteinte à la cohérence des informations acheminées dans le réseau en les modifiant ou en injectant des informations erronées. La Figure I.5 montre un attaquant qui diffuse des informations de trafic erronées.

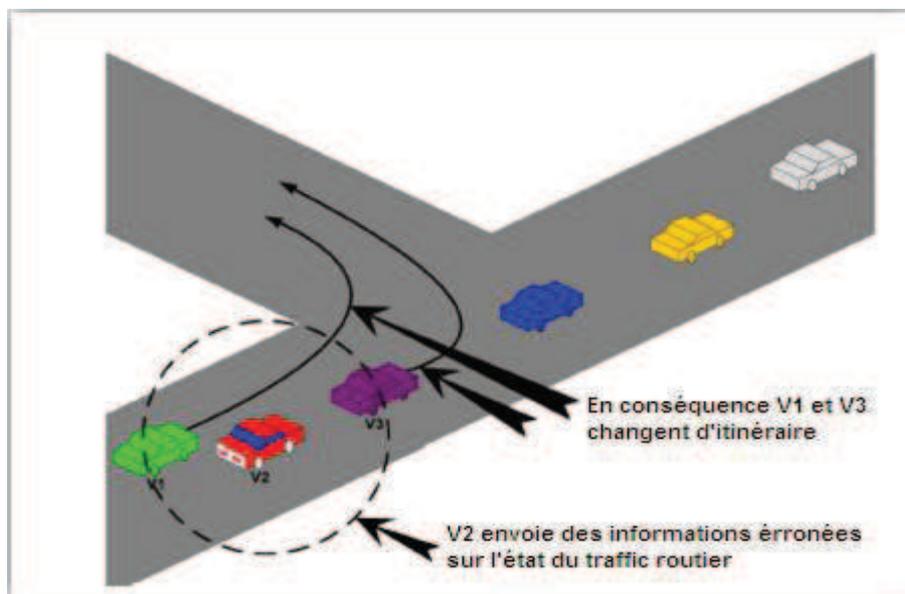


Figure I.5 : Attaques par l'envoi des messages erronés [8].

- **Déni de service:**

Ce type d'attaque peut être monté en brouillant le canal radio, en surchargeant et en épuisant les ressources du réseau par des requêtes abondantes, en exploitant la vulnérabilité des protocoles, en ayant une attitude non coopérative. La Figure I.6 illustre une attaque par déni de service aboutissant à une collision, où l'attaquant empêche l'échange de messages critiques entre des véhicules s'apprêtant à prendre une intersection.

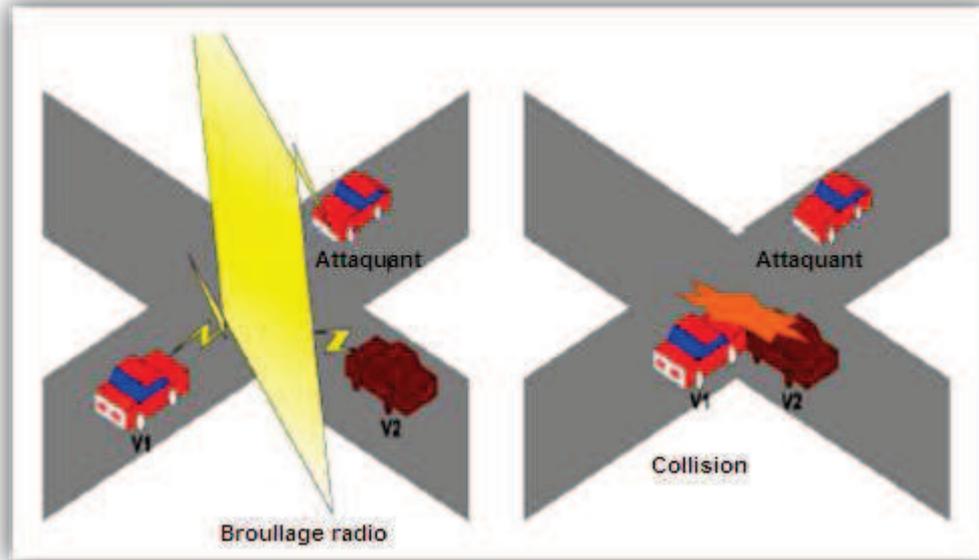


Figure I.6 : Déni de service par brouillage du canal radio [8].

- **Attaque sur l'intimité numérique:**

Dans cette attaque, l'entité malveillante essaie d'obtenir des informations personnelles d'un utilisateur du réseau. Il peut également s'agir pour l'attaquant de tracer l'activité et les déplacements de cet utilisateur. Pour identifier et tracer une victime, l'attaquant peut utiliser toute chaîne de caractères identificatrice dont la récurrence est constatée dans les échanges de la victime. Cette chaîne de caractères peut être une adresse IP, une adresse MAC, des informations d'identification d'un certificat, etc. La Figure I.7 illustre une attaque sur l'intimité numérique et en particulier une identification non-autorisée.

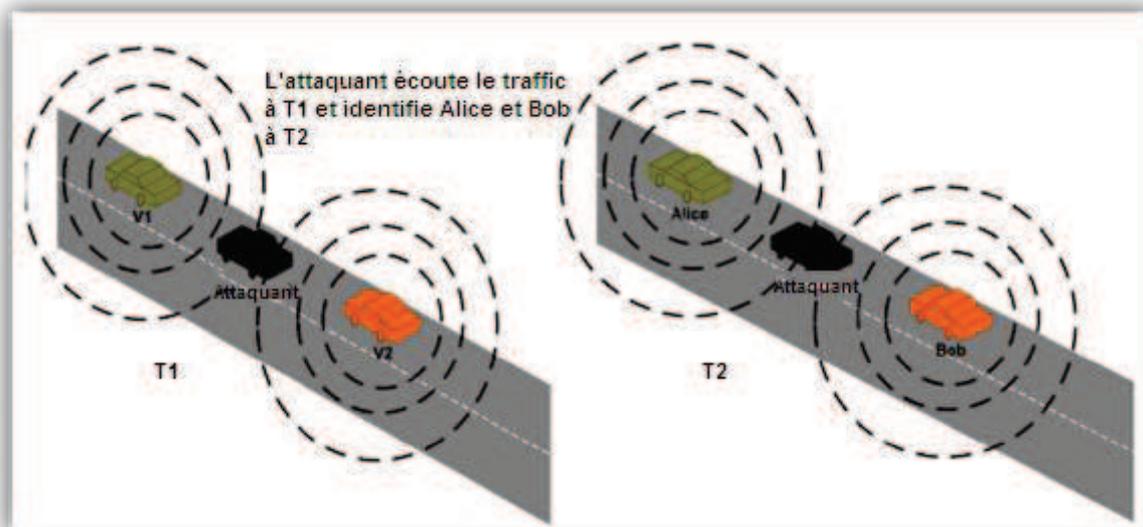


Figure I.7 : Identification non autorisé [8].

### 1.3.4.2 éléments de base de la sécurité dans les VANETS

- **Le TPD (Tamper-Proof Device) :**

C'est un dispositif considéré comme inviolable utilisé pour stocker les informations sensibles comme les clés privées et toutes informations confidentielles, et chargé de signer les messages sortants. Le TPD est conçu de manière à détruire automatiquement toutes les informations stockées lors de la manipulation matérielle. A cet effet, il contient un ensemble de capteurs qui lui permettent de détecter ces manipulations et effacer toutes les informations stockées afin de les empêcher d'être compromises. Ce module est connu aussi sous le nom de HSM (Hardware Security Module) [5].

- **Les certificats dans les VANETS :**

Dans les VANETS il existe deux types de certificats :

**A/ Le certificat à long terme :** chaque véhicule doit avoir un certificat indiquant le véhicule et son propriétaire de manière permanente ; ce type de certificat contient d'autres informations en plus comme celles concernant les caractéristiques des équipements du véhicule. Il peut être utilisé pour établir une communication sécurisée et renouveler les certificats à court terme.

**B/ Le certificat à court terme :** la durée de vie de ce certificat est très courte (d'environ une minute; il ne doit pas contenir les informations indiquant le propriétaire du véhicule; à cet effet il utilise un pseudonyme qui permet d'identifier le véhicule de façon unique. Ce type de certificat est utilisé généralement dans les protocoles de routage.

- **La sécurité du système de balisage :**

Le balisage (en anglais *Beaconing*) consiste en la diffusion périodique aux voisins a-un saut d'un paquet spécifique contenant des informations utiles pour les applications ou les protocoles exécutés au niveau des nœuds voisins. Généralement, les informations incluses dans les balises comprennent des informations sur les nœuds tels l'identifiant, les coordonnées géographiques et la vitesse de déplacement. La fréquence des balises varie de 1HZ à 10HZ dans la plupart des cas.

### 1.3.4.3 Systèmes de détection d'instruction

La détection d'intrusions ne remplace pas les techniques cryptographiques, mais elle peut être considérée comme une action complémentaire à la mise en place des mécanismes de sécurité, cette détection peut être effectuée suivant deux approches non exclusives : l'approche par scénario et l'approche par anomalie.

- **L'approche basée sur la signature :**

La détection basée sur la signature permet de détecter les intrusions qui suivent des modèles d'attaque bien définis et exploitent les faiblesses du système. La première étape dans le processus de détection consiste à identifier chaque attaque par une signature qui lui est propre et ensuite à rechercher les traces dans les fichiers d'audits [5].

Généralement, cette approche est basée sur les techniques à base de règles comme les systèmes experts, les machines à états finis et les réseaux de pétri colorés.

Malgré que cette approche permette de détecter les attaques de manière efficace et rapide, les attaques inconnues ne peuvent être détectées, car les modèles d'attaques doivent être définis auparavant.

- **L'approche basée sur l'anomalie**

L'approche basée sur l'anomalie repose sur l'observation et sur la détection d'un comportement d'un utilisateur déviant par rapport à ses habitudes.

#### 1.3.4.4 Systèmes de réputation

Les systèmes de réputation (parfois appelés les SDI basés sur la réputation) sont un nouveau paradigme proposé pour améliorer la sécurité dans les différents domaines comme les transactions électroniques, les applications de partage de fichiers dans les réseaux, le pair-à-pair.

Les objectifs des systèmes de réputation peuvent être résumés dans les trois points suivants:

- ✓ Fournir des renseignements permettant de distinguer les nœuds dignes confiance.
- ✓ Encourager les nœuds à agir d'une manière fiable.
- ✓ Décourager les nœuds indignes de confiance de participer à fournir les services protégés par le système de réputation.

Dans les MANET, les systèmes de réputation requièrent que chaque nœud doive en continu surveiller les activités de ses voisins, ensuite ils exploitent les informations de deuxième main avec celles dérivés de leurs propres tables pour recalculer les degrés de confiance [8].

De manière générale, les systèmes de réputation sont difficiles à appliquer dans les réseaux VANETS, car la forte mobilité dans ces réseaux rend le temps d'interaction entre les véhicules très court et les interactions répétées très rares.

#### 1.3.4.5 Confidentialité dans les VANETs

La confidentialité de l'identité et de la localisation sera parmi les préoccupations des propriétaires de véhicules et les techniques cryptographiques seules ne peuvent pas assurer cet objectif. La plupart des recherches établies à ce stade proposent l'utilisation de mécanismes de changement de pseudonymes qui assurent cet aspect de confidentialité à une certaine mesure, mais ces solutions ont toujours leur impact négatif sur la performance des protocoles de routage dans les VANETs [5].

#### 1.3.5 Applications des réseaux VANETs

Une des applications de ce concept consiste à munir nos voitures et nos routes de capacités de communication permettant de rendre la route plus sûre et de rendre le temps passé sur les routes plus convivial. Cette application est appelée le système de transport intelligents (ITS, Intelligent transportation System).

Les principales applications des réseaux IVC peuvent être classées en trois catégories:

##### 1.3.5.1 Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs

Pour faciliter la conduite autonome et apporter un support au conducteur dans des situations particulières : aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc. Nous pouvons citer également le cas des compagnies de transports utilisant les IVC dans un but de productivité pour réduire la consommation de carburant.

##### 1.3.5.2 Applications pour la sécurité routière

La sécurité routière est devenue une priorité dans la plupart des pays développés. Cette priorité est motivée par le nombre croissant d'accidents sur ses routes associé à un parc de véhicules de plus en plus important. Afin d'améliorer la sécurité des déplacements et faire face aux accidents routiers, ces réseaux offrent la possibilité de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques.

##### ***A/Alerter en cas d'accidents :***

Ce service permet, dans le cas d'un accident, d'avertir les véhicules se dirigeant vers le lieu de l'accident que les conditions de circulation se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance (figure 1.8). Il est nécessaire, également, en cas de densité réduite de véhicule de pouvoir conserver l'information pour pouvoir la retransmettre si un véhicule entre dans la zone de retransmission. Les messages de sécurité devront être émis à des périodes régulières. Ainsi le ou les nœuds désignés pour la retransmission des messages émettront des alertes à instants réguliers. Les messages

devront être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible. Les messages devront comporter les coordonnées du lieu de l'accident et les paramètres de la zone de retransmission [6].

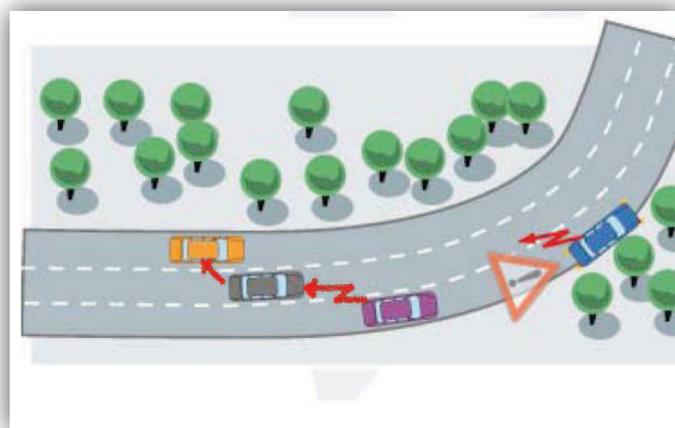


Figure I.8 : Véhicule en panne [6].

#### ***B/La conduite collaborative :***

La conduite collaborative est un concept qui améliore considérablement la sécurité du transport routier (figure I.9). Cette innovation est basée sur un échange de renseignements entre des véhicules munis d'instruments (ex : capteurs) leur permettant de percevoir ce qui les entoure et de collaborer en groupes. Ces groupes de véhicules ou réseaux ponctuels, peuvent élaborer une stratégie de conduite collective qui exigerait peu ou pas d'interventions de la part des conducteurs. Depuis ces dernières années, différentes architectures de véhicules automatisés ont été proposées, mais la plupart d'entre elles n'ont peu ou pas investi le problème de communication inter véhicules. On peut aussi sur le même principe échanger des informations de trafic et de travaux afin de fluidifier le réseau routier en indiquant par exemple des itinéraires bis. La signalisation automatique est aussi envisageable avec l'avertissement de passage de véhicule d'urgence, ou encore l'avertissement d'une panne d'un feu tricolore.

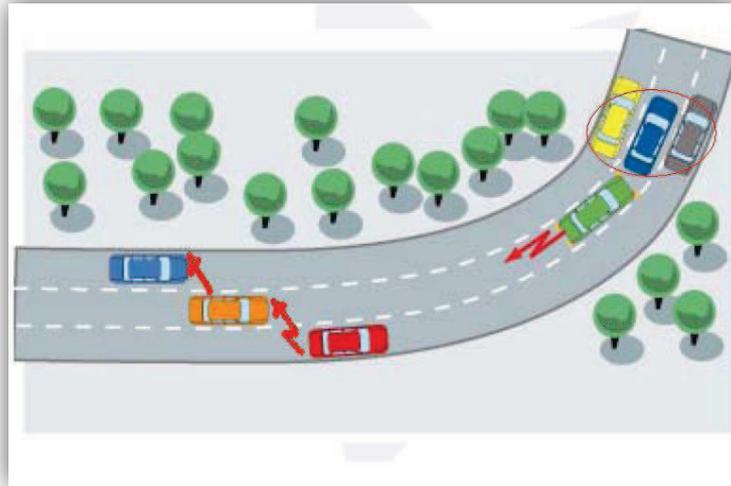


Figure I.9 : Risque de collision [6].

***C/Alerter en cas de ralentissement anormal :***

Ce service permet d'avertir les automobilistes de situations de circulation particulières (figure I.10). L'information quelque soit la nature des difficultés de circulation renseigne l'automobiliste qu'il est nécessaire de ralentir. Le message d'alerte est émis par un véhicule détectant les difficultés de circulation (freinage important par exemple, déclenchement des feux de détresse, pluie). Un véhicule banalisé effectuant des travaux peut également être à l'origine du message d'alerte. Comme pour le message d'alerte informant d'un accident, le message d'alerte informant d'un ralentissement doit être transmis aux autres véhicules de façon efficace et rapide.

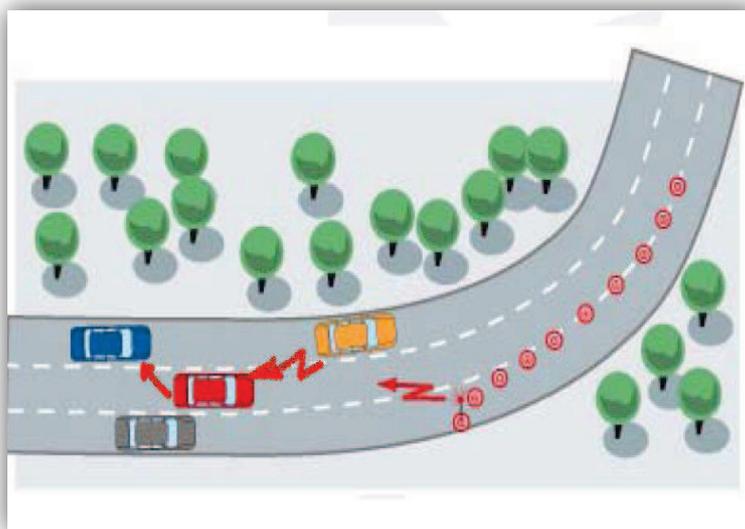


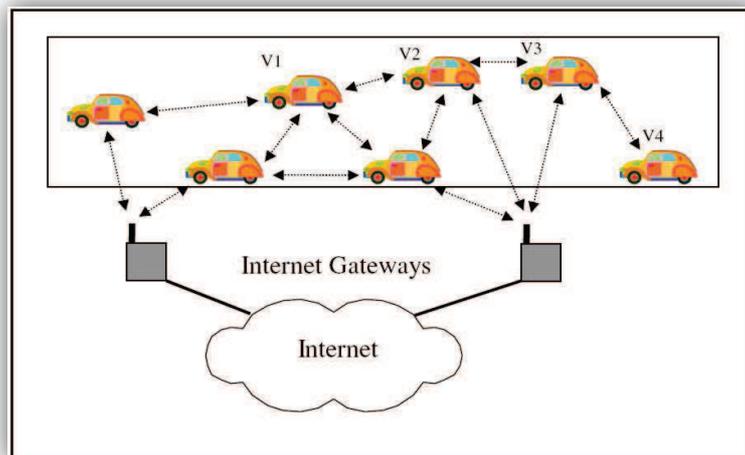
Figure I.10 : Travaux sur les routes [6].

### 1.3.5.3 Applications de confort

Le champ d'application de ce services, à ce stade, est très large et offre des perspectives intéressantes aux opérateurs de télécommunications en leurs permettant de réaliser des bénéfices supplémentaires.

#### **A/Internet dans les transports :**

Aujourd'hui, les hotspots (zone wifi à accès Internet) sont de plus en plus développés dans les villes, en particulier avec les initiatives des communautés et des opérateurs de télécommunication. En voiture, on peut imaginer acheter de la musique et de la vidéo, au niveau d'une station essence, d'une gare ou même en pleine autoroute (en passant d'une voiture à une autre jusqu'au point d'accès le plus proche). Les passagers dans la voiture pourront ainsi jouer en réseaux, ou encore même naviguer sur Internet (figure I.11).



**Figure I.11 :** Accès à Internet.

#### **B/Gestion des espaces libres dans les parkings :**

Ce service permet de rassembler des informations sur la disponibilité de l'espace de stationnement dans les parkings et de coordonner entre automobilistes afin de les guider aux espaces libres (figure I.12).

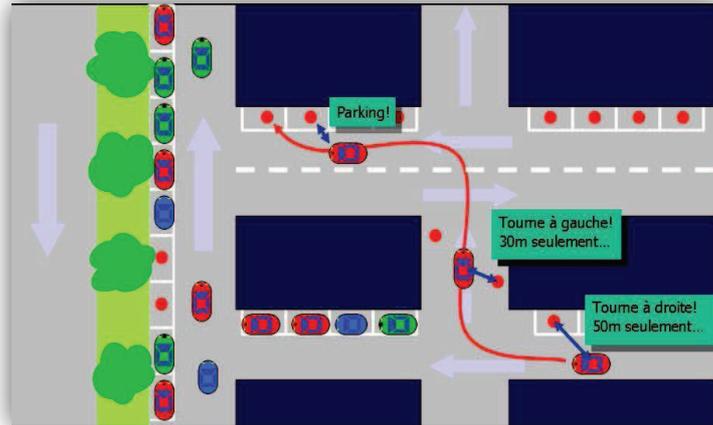


Figure I.12 : Parking intelligent [6].

### C/Réseaux collaboratifs :

Les réseaux collaboratifs sont en train de se développer en particulier avec les réseaux pairs-à-pairs. On peut imaginer une chaîne de radio ou de « télévision distribuée » où chaque véhicule va partager les musiques et vidéos qu'il a en sa possession pour construire un programme de diffusion continu. Les cartes collaboratives (wiki) et les petites annonces peuvent être des services distribués à base de réseaux collaboratifs. Un serveur relai (dit « proxy-cache ») peut permettre la navigation sur Internet même dans des zones sans connexion à Internet. Un système de distribution de publicités et d'informations pratiques (concerts, restaurants, ...) peut être mise en place à l'entrée des villes [13].

## **1.3.6 Avantages et inconvénients**

### 1.3.6.1 Avantages

VANET offre plusieurs avantages aux conducteurs et passagers, tels que l'accès haut débit à internet, le chat inter-véhicules, les jeux en réseaux. Donc c'est un outil de productivité essentiel qui rend pratiquement toute technologie web disponible dans la voiture. Même si un tel réseau pose certains problèmes de sécurité (par exemple, on ne peut pas taper un courrier électronique en toute sécurité pendant la conduite), cela ne limite pas l'importance VANET comme un outil de productivité. Il permet de profiter de temps mort qu'est gaspillé dans l'attente (embouteillage, ralentissement) pour accomplir des tâches (connexion à l'internet, téléchargement de musique,...) [14].

### 1.3.6.2 Inconvénients

L'internet peut être un outil de productivité utile, il peut également s'avérer très distrayant, entraînant dans la sécurité et les préoccupations réellement le temps de gaspiller.

Comme les téléphones cellulaires, l'internet peut être détourné les utilisateurs de la route. Vérification des courriels, naviguer sur le web ou même regarder des vidéos You Tube peuvent accaparer les conducteurs et causer des accidents.

## **1.4 Conclusion**

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs) représentent un cas particulier ou une application potentielle des réseaux mobiles ad hoc (MANETs). Outre les caractéristiques des MANETs, telles que la non-utilisation d'infrastructure, les VANETs ont d'autres propriétés: la forte mobilité des nœuds, la forte dynamique et la spécificité de la topologie (définie par la géométrie des routes et l'environnement routier). Les VANETs ont de nombreuses applications dans plusieurs domaines tels que la sécurité routière ou de nouveaux services pour le conducteur et les passagers. Au vu des particularités et des applications des VANETs, assurer des communications dans un tel réseau représente un challenge intéressant.

Dans le chapitre suivant nous nous intéresserons au routage et la qualité de service dans les réseaux ad hoc ainsi que dans les réseaux VANETs.

# Chapitre 02 : Routage et qualité de service dans les VANETS

## *SOMMAIRE*

### **II.1 Introduction**

### **II.2 Routage**

#### **II.2.1 Définition**

#### **II.2.2 Routage dans les réseaux Ad hoc**

##### **II.2.2.1 Protocoles proactifs**

##### **II.2.2.2 Protocoles réactifs**

##### **II.2.2.3 Protocoles hybrides**

#### **II.2.3 Routage dans les réseaux VANETS**

##### **II.2.3.1 Routage basé sur la topologie**

##### **II.2.3.2 Routage basé sur les positions**

### **II.3 Qualité de service**

#### **II.3.1 Définition de la qualité de service**

#### **II.3.2 Paramètres de la qualité de service**

#### **II.3.3 Classe de service**

### **II.4 Conclusion**

## II.1 Introduction

Le routage est un mécanisme important dans tout type de réseau, ce qui le rend une cible idéale pour les attaques dans les VANETs. En effet, si les règles du protocole de routage utilisées n'étaient pas bien conçues, l'entité malveillante peut les manipuler afin d'interrompre l'acheminement d'un message. C'est pour cette raison que ces réseaux auront un impact négatif sur la sécurité routière en présence des attaquants.

Dans la littérature, il existe plusieurs protocoles de routage qui ont été développés pour les réseaux ad hoc de manière générale. Donc, ces protocoles ont été conçus sous des conditions plus ou moins contraignantes que les VANETs, ce qui oblige à une reconsidération de leur conception avant leur utilisation dans les VANETs.

Vu l'évolution des réseaux, la QoS est devenu indispensable pour la plupart des réseaux. Sa problématique est apparue en premier lieu en réseaux filaires. Pour cela, plusieurs méthodes et mécanismes sont proposés pour régler ce problème surtout pour les réseaux IP.

Dans ce chapitre, nous nous focalisons sur le routage et la QoS qui sont des problèmes très pénibles à gérer (beaucoup de chercheurs ont exploité cet axe de recherche).

## II.2 routage

### II.2.1 Définition

Le routage est un mécanisme d'acheminement des informations entre deux entités par le billet d'un support de connexion en utilisant un protocole de routage. Ce dernier, est l'élément responsable d'aiguillage des paquets dans les réseaux (**Figure II.1**).

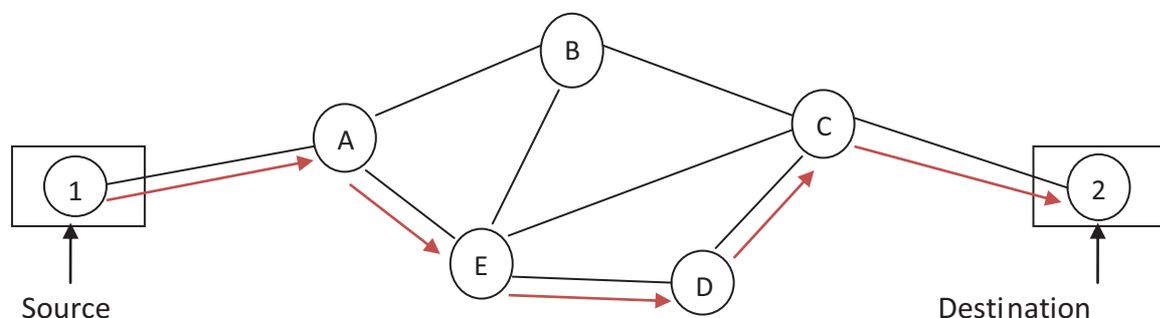


Figure II.1 : Exemple de routage de la source vers la destination [15].

Notre objectif est d'étudier les différents protocoles de routages utilisés dans les réseaux Ad hoc avec une attention particulière aux réseaux VANETs et ça ce que nous allons détailler par la suite.

### II.2.2 Routage dans les réseaux Ad hoc

Le routage dans les réseaux Ad-Hoc présente des défis plus complexes en comparaison avec le routage dans les réseaux filaires traditionnels. En effet, une stratégie intelligente de routage est nécessaire pour supporter la nature et les paramètres du réseau (la mobilité, le nombre de nœuds, la densité du trafic, la qualité du service et la superficie du réseau) [16].

On dispose trois familles des protocoles de routages dans les réseaux Ad-Hoc :

- Les protocoles proactifs.
- Les protocoles réactifs.
- Les protocoles hybrides.

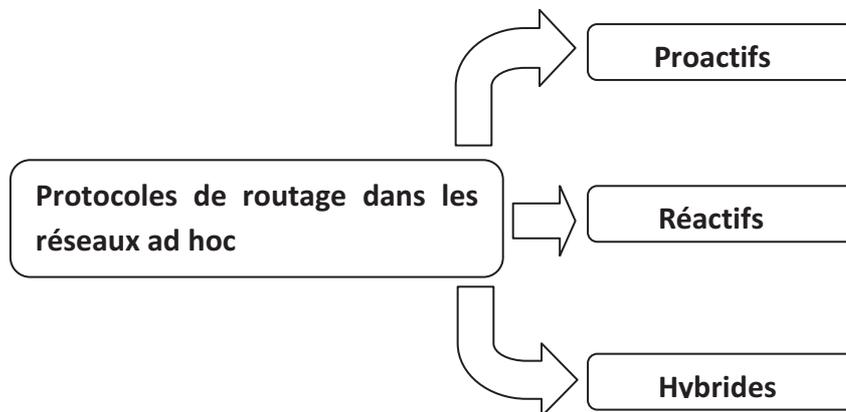


Figure II.2 : Types des protocoles de routage Ad hoc

#### II.2.2.1 Protocoles de routage proactifs

Les protocoles proactifs entretiennent en permanence les routes vers chaque nœud du réseau et maintiennent à jour les informations et les tables de routage. Les routes sont donc établies à l'avance et disponibles immédiatement lorsqu'elles sont sollicitées. Ces protocoles reposent sur les principes du routage basé sur l'état des liens (*Link-State*) ou basé sur les vecteurs de distance (*Distance Vector*). Mais les ressources très limitées dans les réseaux Ad-hoc empêchent l'utilisation des protocoles traditionnels déjà utilisés dans les réseaux filaires. En effet, la bande passante est très sollicitée lors des échanges des messages entre les nœuds pour maintenir les chemins et les tables de routage dans le cas des protocoles

utilisant l'état des liens ou les vecteurs de distance. Ainsi, de nouveaux protocoles ont été proposés pour pallier les problèmes des protocoles traditionnels et surtout le fort taux de trafic de contrôle [17].

### II.2.2.2 Protocoles de routages réactifs

Le principe des protocoles réactifs est de créer et maintenir les routes selon les besoins. Ainsi, aucune route ou information de routage ne sera calculée tant qu'un nœud n'a pas initié une communication pour demander une route vers le nœud destinataire. Lorsqu'un nœud a besoin d'une route pour communiquer avec le destinataire, une procédure de découverte de route par inondation est lancée dans tout le réseau. Grâce à cette méthode, les nœuds du réseau ne génèrent aucun trafic de contrôle sans qu'il soit nécessaire. Ceci permet de réduire la charge du trafic dans le réseau. Par contre, au moment de l'inondation pour la création d'une route, le mécanisme est très coûteux au niveau de la bande passante car tous les nœuds participent au mécanisme. En outre, durant cette phase de recherche de route, les paquets de données à envoyer seront mis en attente en attendant la disponibilité d'une route [17].

### II.2.2.3 Protocoles de routage hybrides

Ce type de protocole combine les mécanismes des protocoles proactifs et réactifs. Dans cette approche, les protocoles hybrides utilisent les méthodes proactives (messages périodiques de contrôle) pour découvrir les routes dans un voisinage prédéfini. Les techniques d'inondation des protocoles réactifs sont utilisées pour obtenir les routes vers les nœuds lointains [16], [17].

Figure II.3 donne une nomenclature et une classification des principaux protocoles proactifs, réactifs et hybrides développés ces dernières années.

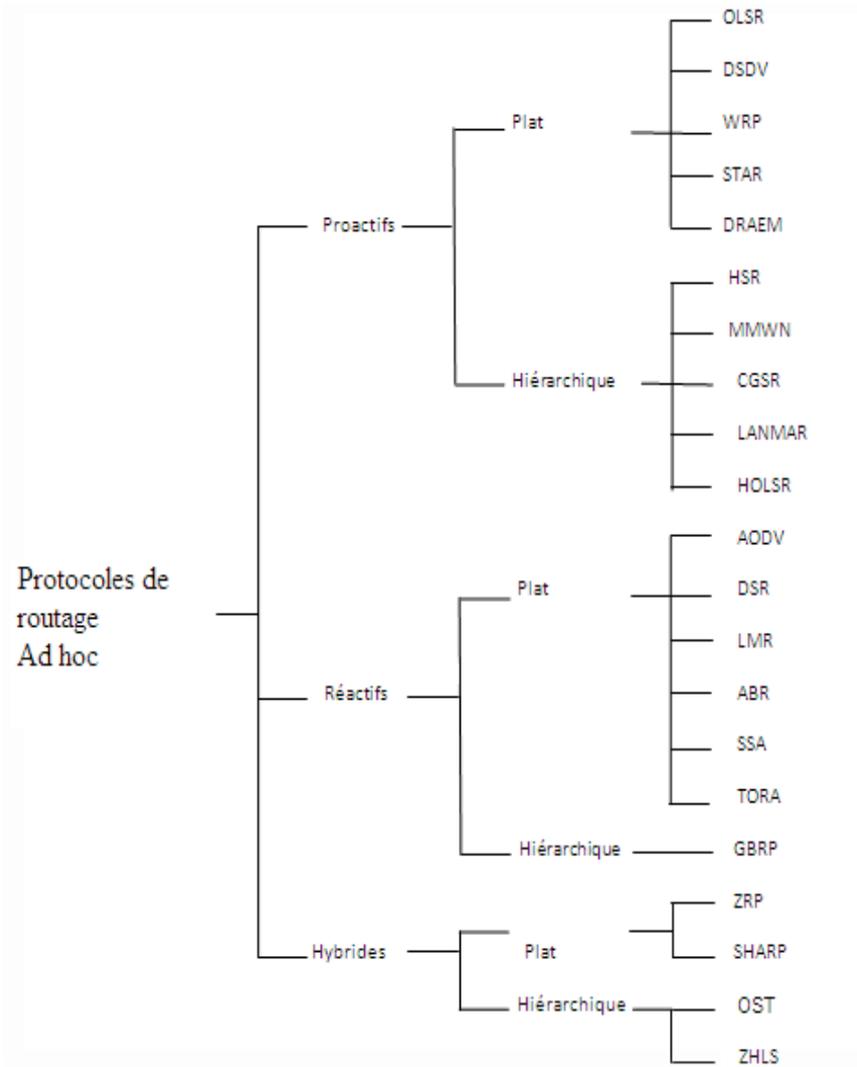


Figure II.3 : Classification des protocoles de routage Ad hoc [17].

### II.2.3 Routage dans les réseaux VANETs

Comme en a vu précédemment le routage doit être présent dans tous types de réseaux ; il permet d'échanger les informations entre les différents entités constituent le réseau. Le routage des messages dans les VANETs est un grand challenge. La figure II.4 illustre la taxonomie des routages dans les réseaux VANETs.

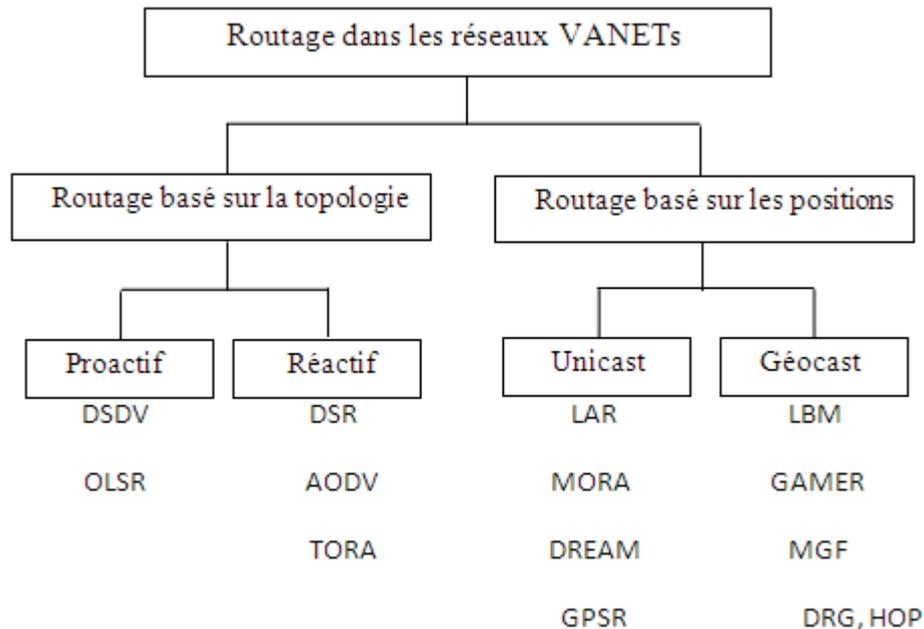


Figure II.4 : Taxonomie des routages dans les réseaux VANETs [18].

### II.2.3.1 Routage basé sur la topologie

Les protocoles de routage basés sur la topologie peuvent être classés en deux familles principales: proactifs et réactifs. Les protocoles proactifs établissent les routes à l'avance en se basant sur l'échange périodique des messages. La construction et le maintien des routes sont faits même s'il n'y a pas de messages à acheminer. Contrairement aux protocoles proactifs, les réactifs ne déterminent les routes vers la destination qu'à la demande. Ainsi, lorsqu'un nœud a besoin d'une route, une procédure de découverte de routes sera lancée dans le but d'obtenir une information spécifique, inconnue au préalable [19].

Parmi ces protocoles, nous nous intéressons aux protocoles suivants : DSDV, DSR et AODV qui sont implémentés dans les simulateurs que nous allons utiliser dans le chapitre suivant.

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

Conçu spécialement pour les réseaux mobiles. Chaque station mobile maintient une table de routage qui contient :

- Toutes les destinations possibles.
- Le nombre de nœud (ou de sauts) nécessaire pour atteindre la destination.
- Le numéro de séquences (SN: Sequence Number) qui correspond à un nœud destination.

Afin de maintenir la consistance des tables de routage dans une topologie qui varie rapidement, chaque nœud du réseau transmet périodiquement sa table de routage à ses

voisins directs. Le nœud peut aussi transmettre sa table de routage si le contenu de cette dernière subit des changements significatifs par rapport au dernier contenu envoyé [20]. La mise à jour dépend donc de deux paramètres: Le temps, c'est à dire la période de transmission, et les événements (ou les déclencheurs), par exemple: apparition d'un nœud, détection d'un nouveau voisin...etc. La mise à jour doit permettre à une unité mobile de pouvoir localiser, dans la plupart des cas, une autre unité du réseau.

La mise à jour de la table de routage peut se faire de deux façons:

- Une mise à jour complète.
- Une mise à jour incrémentale.

Dans la mise à jour complète, la station transmet la totalité de la table de routage aux voisins. Elle nécessite l'envoi de plusieurs paquets de données. Par contre, dans une mise à jour incrémentale, juste les entrées qui ont subi un changement par rapport à la dernière mise à jour, sont envoyées ce qui réduit le nombre de paquets transmis. La façon de faire la mise à jour des tables de routage est liée à la stabilité du réseau. Dans le cas où le réseau serait relativement stable, la mise à jour incrémentale est utilisée pour réduire le trafic de la communication, la mise à jour complète n'est pas fréquente dans ce genre de situation. Dans le cas opposé, où le réseau subit des changements rapides, le nombre de paquets incrémentaux envoyés augmente, ce qui fait que la mise à jour complète est fréquente.

Un paquet de mise à jour contient :

1- Le nouveau numéro de séquence incrémenté, du nœud émetteur.

Et pour chaque nouvelle route :

2- L'adresse de la destination.

3- Le nombre de nœuds (ou de sauts) séparant le nœud de la destination.

4- Le numéro de séquence (des données reçues de la destination) tel qu'il a été estampillé par la destination [9], [20].

Les données de routage reçues par une unité mobile, sont comparées avec les données déjà disponibles. La route étiquetée par la plus grande valeur du numéro de séquence (i.e. la route la plus récente), est la route utilisée. Si deux routes ont le même numéro de séquence, alors la route qui possède la meilleure métrique, est celle qui sera utilisée. La métrique utilisée dans le calcul des plus courts chemins est, tout simplement, le nombre de nœuds existant dans le chemin. Les valeurs des métriques des routes, choisies après réception des données de routage, sont incrémentées. Les modifications faites sur les données de routage locales, sont immédiatement diffusées à l'ensemble courant des voisins. Les routes reçues par une diffusion, seront aussi envoyées quand le récepteur procédera à l'envoi de ses paquets de routage. Le récepteur doit incrémenter les métriques des routes reçues avant l'envoi, car le récepteur représente un nœud en plus, qui participe dans l'acheminement des messages vers la destination. Un lien rompu est matérialisé par une valeur infinie de sa métrique [20].

Le DSDV élimine les deux problèmes de boucle de routage "routing loop", et celui du "counting to infinity". Cependant, dans ce protocole, une unité mobile doit attendre jusqu'à ce qu'elle reçoive la prochaine mise à jour initiée par la destination, afin de mettre à jour l'entrée associée à cette destination, dans la table de distance. Ce qui fait que le DSDV est lent.

En outre, le DSDV utilise une mise à jour périodique et basée sur les événements, ce qui cause un contrôle excessif dans la communication.

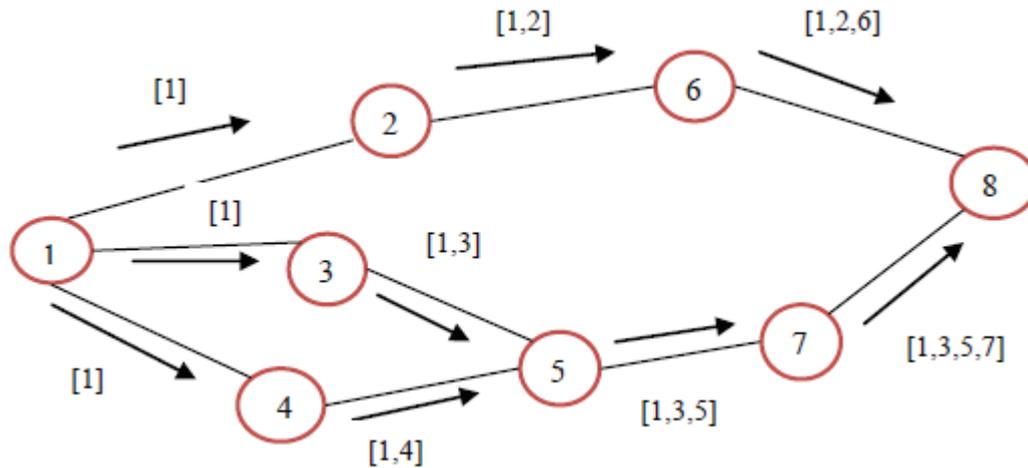
#### **DSR (Dynamic Source Routing) :**

C'est un protocole de routage réactif uniforme, simple et efficace, il est basé sur la technique de routage par la source sans utilisation de la table de routage. Dans cet algorithme, chaque paquet contient la séquence complète des nœuds à travers lesquels il doit aboutir à la destination. L'avantage de l'utilisation d'algorithme de routage source est que les nœuds de transit n'ont pas besoin de maintenir à jour les informations sur la route puisque le paquet possède toutes ces informations. Un autre avantage de routage par la source est la possibilité du contrôle du trafic en lui proposant de suivre le chemin le plus adapté à ses besoins de qualité de service [14].

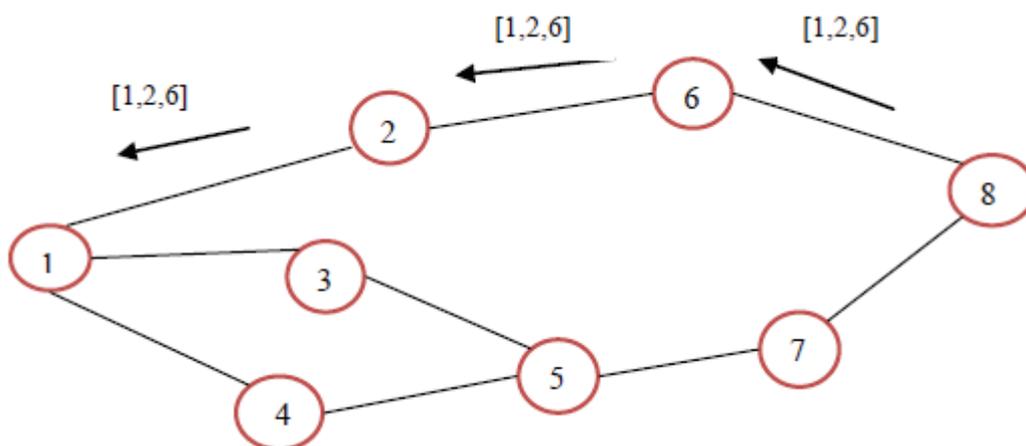
DSR est décomposé en deux processus, le premier est utilisé pour la découverte de la route à la demande et le deuxième s'occupe des routes de communications en cours.

#### **La découverte des routes :**

Si un nœud veut communiquer avec une destination à laquelle il ne possède pas de route, il diffuse un paquet de requête de demande de route (RREQ : Route REQest). Chaque nœud qui reçoit le RREQ et ne possède pas une route vers la destination insère son adresse dans le paquet RREQ et le diffuse à ses voisins. La réponse à la requête RREP (Route REPlay) est retournée par la destination ou par un autre nœud qui possède une route à la destination (figure II.5) [21].



(a) Construction de l'enregistrement de route.



(b) L'envoi du chemin ou de la Route Replay.

Figure II.5 : La découverte de chemin dans le DSR [14].

#### ❖ La maintenance des routes :

Quand un nœud détecte un problème lors de transmission, un message erreur de route (Route ERRor) est envoyé à l'émetteur original du paquet. Ce message contient l'adresse du nœud qui détecte l'erreur et celle qui le suit dans le chemin. Si la source reçoit le RERR, une nouvelle opération de découverte de routes vers la destination, est initiée par l'émetteur[14].

### AODV (Ad-Hoc On demand Distance Vector) :

L'AODV utilise les principes des numéros de séquence à fin de maintenir la consistance des informations de routage. A cause de la mobilité des nœuds dans ce type du réseau, les routes changent fréquemment ce qui fait que les routes maintenues par certains nœuds, deviennent invalides. Les numéros de séquence permettent d'utiliser les routes les plus nouvelles ou autrement dit les plus fraîches (fresh routes).

De la même manière que dans le DSR, l'AODV utilise une requête de route dans le but de créer un chemin vers une certaine destination. Cependant, l'AODV maintient les chemins d'une façon distribuée en gardant une table de routage, au niveau de chaque nœud de transit appartenant au chemin cherché [14] [16]. Une entrée de la table de routage contient essentiellement :

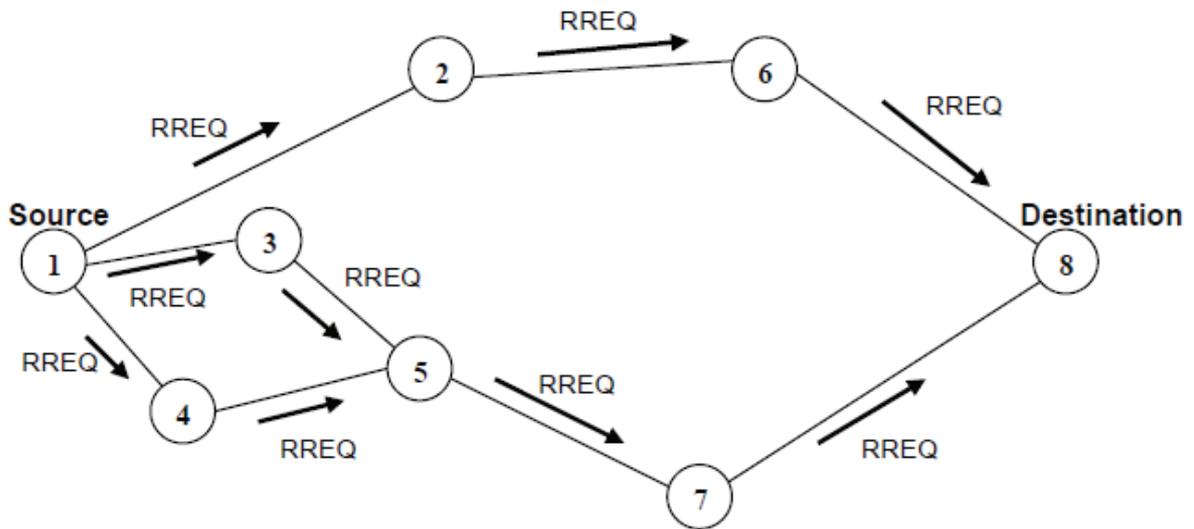
- 1- L'adresse de la destination.
- 2- Le nœud suivant.
- 3- La distance en nombre de nœud (i.e. le nombre de nœud nécessaire pour atteindre la destination).
- 4- Le numéro de séquence destination.
- 5- Le temps d'expiration de l'entrée de la table.

Quand un nœud de transit (intermédiaire) envoie le paquet de la requête à un voisin, il sauvegarde aussi l'identificateur du nœud à partir duquel la première copie de la requête est reçue. Cette information est utilisée pour construire le chemin inverse (figure II.6 (b)), qui sera traversé par le paquet réponse de route (cela veut dire que l'AODV supporte seulement les liens symétriques).

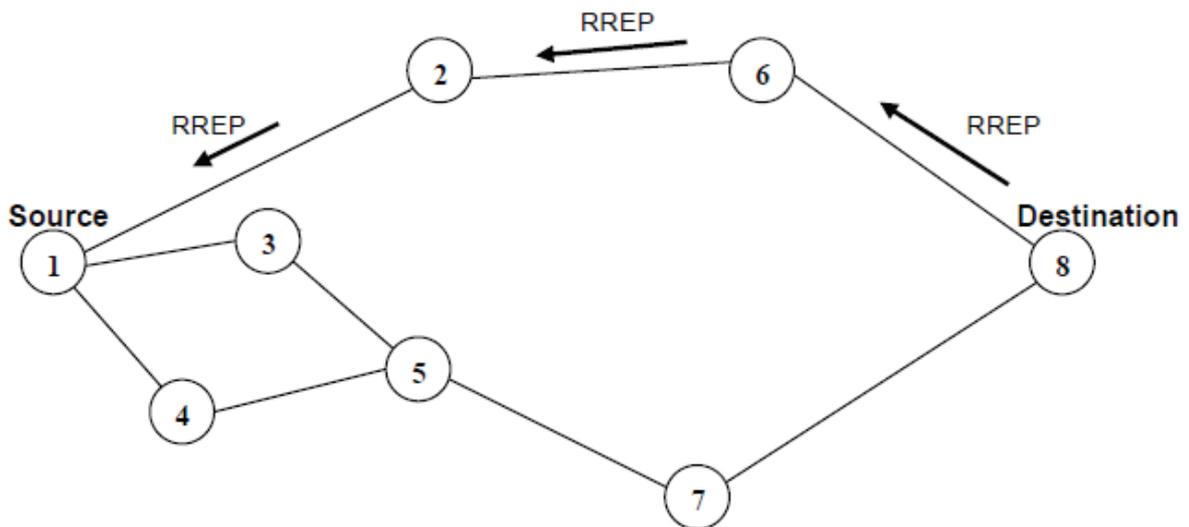
Puisque le paquet réponse de route va être envoyé à la source, les nœuds appartenant au chemin de retour vont modifier leurs tables de routage suivant le chemin contenu dans le paquet de réponse. Un nœud diffuse une requête de route (RREQ : Route REQuest), dans le cas où il aurait besoin de connaître une route vers une certaine destination et qu'une telle route n'est pas disponible (figure II.6 (a)). Cela peut arriver si la destination n'est pas connue au préalable, ou si le chemin existant vers la destination a expiré sa durée de vie ou il est devenu défaillant (i.e. la métrique qui lui est associée est infinie).

Le champ numéro de séquence destination du paquet RREQ, contient la dernière valeur connue du numéro de séquence, associé au nœud destination. Cette valeur est recopiée de la table de routage. Si le numéro de séquence n'est pas connu, la valeur nulle sera prise par défaut. Le numéro de séquence source du paquet RREQ contient la valeur du numéro de séquence du nœud source. Comme nous avons déjà dit, après la diffusion du RREQ, la source attend le paquet réponse de route (RREP : Route REPlay). Si ce dernier n'est pas reçu durant une certaine période (appelée RREP\_WAIT\_TIME), la source peut rediffuser une nouvelle requête RREQ. A chaque nouvelle diffusion, le champ Broadcast ID du paquet RREQ est

incrémenté. Si la requête RREQ est rediffusée un certain nombre de fois (RREQ\_RETRIES) sans la réception de réponse, un message d'erreur est délivré à l'application.



(a) La propagation du paquet RREQ (requête de route).



(b) Le chemin pris par le paquet RREP (requête de réponse).

Figure II.6 : Les deux requêtes RREQ et RREP utilisés dans le protocole AODV [14].

### II.2.3.2 Routage basé sur les positions

Les protocoles de routage basés sur la position (ou géographique) utilisent des coordonnées géographiques (par exemple, fournies par GPS) afin de trouver un chemin vers la destination. Pour atteindre cet objectif, les coordonnées géographiques des nœuds sont incluses dans les tables de routage. Chaque nœud doit connaître la position de ses voisins ainsi que de destination pour acheminer les paquets [19]. Il existe deux types des protocoles géographiques: les protocoles unicast et géocast.

#### **1. Protocoles Unicast:**

Ces protocoles peuvent être divisée en deux familles principales: l'acheminement gloutonne (greedy forwarding) et la diffusion directionnelle (directional flooding). Le principe de l'acheminement signifie que les messages sont transmis au nœud le plus proche de la destination. Par contre, dans la diffusion directionnelle, les messages sont envoyés vers un ensemble de nœuds se trouvant dans la direction de la destination [19].

#### **❖ Protocoles de routages LAR et DREAM :**

Le protocole LAR (Location-Aided Routing protocol) utilise l'inondation pour la découverte des routes (approche réactive) alors que DREAM (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) maintient les informations du voisinage (approche proactive). Le protocole LAR est un protocole réactif s'appuyant sur la connaissance des paramètres du mouvement des nœuds du réseau pour y découvrir des routes. Généralement, dans les protocoles réactifs, les nœuds utilisent un mécanisme de construction de route par inondation du réseau. Ainsi, l'objectif de LAR est de limiter cette inondation à une zone géographique calculée en fonction des mouvements des deux protagonistes de l'échange, afin de réduire le nombre de messages de contrôle inutiles [22].

Contrairement au protocole LAR, le protocole DREAM est un protocole proactif, où les nœuds du réseau échangent de manière périodique leur table de routage. Les routes disponibles sont donc connues immédiatement. Ce protocole s'appuie sur la connaissance des mouvements des nœuds du réseau pour enrichir ses tables de routage et diminuer le surcoût réseau qu'il induit dans les communications [23].

#### **2. Protocoles Geocast:**

Les protocoles Geocast utilisent souvent la diffusion directionnelle pour atteindre la zone de destination: les messages sont envoyés aux nœuds qui sont dans la direction de la zone destination [19].

### ❖ *Le protocole de routage LBM :*

Le protocole LBM (Location Based Multicast) est basé sur la diffusion des messages tout en évitant d'inonder tout le réseau en définissant une zone de diffusion qui contient au moins la zone de destination et le chemin entre l'émetteur et le récepteur. En dehors de la zone de diffusion, les paquets ne sont pas retransmis. La zone de diffusion peut être définie en utilisant les coordonnées de l'émetteur, la région de destination et les distances par rapport au nœud du centre de la région Geocast. Ce protocole est basé sur la diffusion en définissant une zone d'acheminement ou en exploitant les coordonnées des nœuds [18].

Pour garantir ces protocoles de routage, il faut intégrer des paramètres de qualité de service qui répondent aux exigences de différentes applications. Dans la partie suivante, nous avons présenté le principe de QoS et ses paramètres.

## **II.3 Qualité de service :**

### II.3.1 Définition de la qualité de service

Le terme **QoS** (acronyme de « Quality of Service », en français « Qualité de Service ») désigne la capacité à fournir un service (notamment un support de communication) conforme à des exigences en matière de temps de réponse et de bande passante. D'une autre façon, on peut dire que la QoS est un ensemble de techniques et de technologies qui permettent aux applications et aux utilisateurs de recevoir un niveau de service prédictible. Cet ensemble regroupe plusieurs paramètres tel que : bande passante, taux de pertes, délai, gigue, fiabilité, etc. [24].

### II.3.2 Paramètres de qualité de service

Les principaux critères permettant d'apprécier la qualité de service sont les suivants :

- ❖ **Débit** (en anglais bandwidth) : définit le volume maximal d'information écoulé (bits) par unité de temps exprimé en bit/s. Il faudra également déterminer le point de mesure auquel correspond le débit. Ce dernier est également associé à la notion de bande passante. En effet, le débit indiqué n'aura pas la même valeur suivant la couche (au sens modèle ISO) où il est mesuré, du fait des diverses encapsulations [25].
  
- ❖ **Délai d'acheminement d'un paquet** (ou simplement délai) : C'est la durée qui sépare le moment où le paquet est envoyé par la source et le moment où il est reçu par la destination, l'unité de mesure est la seconde. Ce paramètre peut correspondre à une valeur maximale à ne pas dépasser, une mesure moyenne ou minimale, mais en aucun cas ne désigne le temps total de transfert des données. Le délai dépend de la

durée de stockage du paquet dans les files d'attente de chaque nœud intermédiaire (aussi bien au niveau de la couche réseau ou mac) et de la durée de transmission physique du paquet (propagation du signal), mais cette durée est négligeable par rapport au temps de stockage du paquet dans les nœuds. Le délai d'acheminement d'un paquet est alors une fonction du nombre de relais est donc de la distance entre la source et la destination [25].

❖ **Le taux de perte** (en anglais packet loss): désigne la probabilité maximale de perte de données ou de paquets. Ce paramètre, sans unité, est bien entendu très inférieur à 1. Nous chercherons toujours à se rapprocher d'un taux de perte égal à 0 qui désigne une QoS excellente.

❖ **Fiabilité** : C'est la capacité d'un réseau pour assurer la bonne livraison des paquets. Elle dépend du canal de transmission et du protocole de transport.

Avec un canal de transmission défectueux, nous pouvons subir des conséquences graves telles que :

- ✓ Perte de paquets.
- ✓ Désordre dans les paquets arrivés.
- ✓ Déformation du signal reçu par le récepteur.
- ✓ Congestion.

❖ **Gigue** (en anglais jitter ou delay variation) : représente la fluctuation du signal numérique, dans le temps ou en phase.

Si le débit et le taux de perte concernent toutes les applications, le délai et la gigue affectent plus particulièrement les applications à temps réel ou requérant une grande synchronisation.

En plus de ces paramètres, nous pouvons ajouter des critères de la disponibilité de transfert des données dans le réseau comme :

❖ **Disponibilité du réseau** : signifie la probabilité qu'un élément tombe en panne.

Le MTBF « Mean Time Between Failures » pour l'ensemble de la chaîne de service peut être calculé sur la base des MTBF des éléments qui la constituent.

❖ **La durée d'interruption de service** : C'est un critère qui complète la disponibilité.

Le MTTR « Mean Time To Repair » pour l'ensemble de la chaîne de service peut être également calculé sur la base des MTTR des éléments qui la constituent [26].

La disponibilité d'un réseau est calculée par les formules suivantes :

MTBF : Mean Time Between Failures (le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes).

MTTR : Mean Time To Repair (le temps moyen de bon fonctionnement avant la panne).

- Disponibilité :  $A = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$
- Indisponibilité :  $B = \text{MTTR} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) = 1 - A$

❖ **Déséquencement** (en anglais *desequencing*): représente une modification de l'ordre d'arrivée des paquets.

### II.3.3 Classes de service

Les classes de services (Class of Services : CoS) sont des groupes qui ressemblent les paramètres de qualité de services entre eux en fonction des besoins des applications et des services. Les requêtes des classes de QoS (des applications ou des services) seront toujours associées à une classe de service donnée.

Chaque classe correspond à un ensemble des paramètres de QoS avec des objectifs quantifiés. Plusieurs modèles de CoS ont été standardisés et peuvent être utilisés indifféremment. Chaque opérateur définit également ses propres classes de services avec des différents objectifs quantifiés. Il est très complexe de synthétiser les différentes propositions. En effet, même le nombre de classes de services est un sujet pour des débats intenses dans les instances de standardisations [27] [28].

Une classification des principales applications est présentée comme suit :

- ❖ **Voix** : Ressemble à toutes les applications du type conversationnel (Voix, Visio, Conférence, ...) ayant pour contrainte forte des objectifs sur le délai et la gigue. Elles sont également sensibles au taux de perte bien qu'il ne soit pas possible de retransmettre les données et requièrent des débits assez faibles.
- ❖ **Vidéo** : Ressemble à toutes les applications multimédia diffusées ou non (Vidéo à la Demande - VoD, la télévision sur IP – IP TV, ...) ayant pour contrainte forte le taux de perte et le débit et dans une moindre mesure le délai et la gigue.
- ❖ **Donnée** : Ressemble à toutes les applications de transfert de données ayant pour seule contrainte un taux de perte nul et qui s'accommodent d'un délai et d'une gigue quelconque.
- ❖ **Défaut** : Désigne toutes les applications n'exigeant aucune garantie de QoS. Bien connu sous l'anglicisme « Best-Effort » c'est le mode de transport du protocole IP [27], [28].

Actuellement, les travaux qui ont été réalisés pour offrir une meilleure qualité de service pour les applications multimédia reposent sur certains aspects liés aux réseaux ad hoc qui sont les modèles de qualité de service.

### II.3.4 Modèles de qualité de services

Un modèle de qualité de service décrit un ensemble de services bout-en-bout, qui permettent aux clients de sélectionner un nombre de garanties qui gouvernent des propriétés telles que le temps, l'ordonnancement et la fiabilité. Le modèle de qualité de service spécifie l'architecture qui va nous permettre d'offrir un meilleur service. Cette architecture doit prendre en considération les défis imposés par les réseaux ad hoc, comme le changement de la topologie et les contraintes de délai et de fiabilité [29].

Il existe deux approches majeures de modèles: Les architectures à intégration de services (IntServ) et les architectures à différenciation de services (DiffServ). Ces deux architectures utilisent des stratégies différentes.

#### II.3.4.1 Intégration de services (IntServ)

L'architecture à intégration de services [26] définie par L'IETF vise à garantir une qualité de services aux applications la demandant. Elle sert aussi à assurer une qualité de services individuellement à chaque flot indépendamment de l'application à laquelle appartient ce flot. Cette architecture permet aux applications de spécifier leurs demandes en ressources.

Le principe du modèle IntServ repose sur deux fondements :

- Tout d'abord, le réseau doit être contrôlé et soumis aux mécanismes de contrôle d'admission des flux ;
- La nécessité de disposer de mécanismes de réservation de ressources pour obtenir différents services. Pour cela, l'émetteur envoie une requête de réservation de bande passante qui doit être acceptée par l'ensemble des équipements qui seront traversés par les flux [26]. Le protocole utilisé est le RSVP (Ressource reSerVation Protocol) [30].

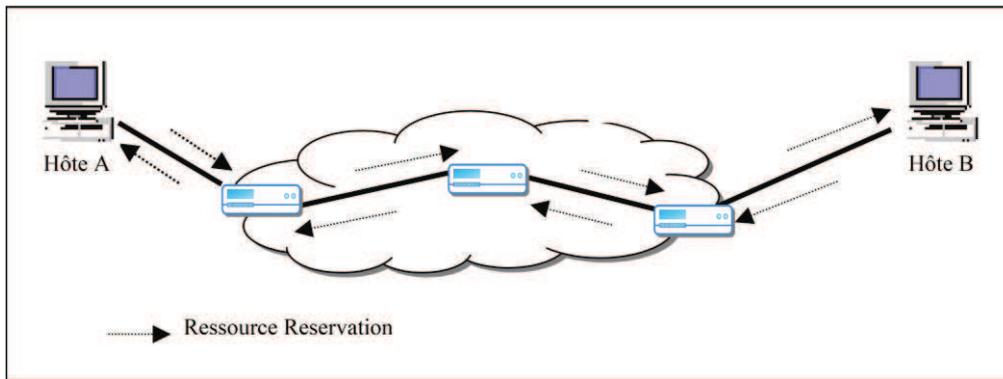


Figure II.7 : Principe général du modèle à intégration de service [31].

Les réseaux à intégration de services sont donc constitués de routeurs qui assurent les fonctionnalités de contrôle d'admission de flux et de réservation de ressources.

#### II.3.4.2 Différenciation de service (DiffServ)

L'architecture à différenciation de services (DiffServ) [32] proposée aussi par l'IETF utilise un modèle plus pratique dans lequel les paquets sont répartis en classes. Le nombre de ces classes est relativement restreint (trois ou quatre classes en générale) et sont gérées par la couche réseau du nœud émetteur [26].

L'intérêt d'un tel modèle est de pouvoir s'occuper du problème d'approvisionnement en qualité de service à travers une allocation de services basée sur un contrat établi entre un fournisseur de services et un client. Pour le groupe de travail DiffServ, un micro-flux de paquet IP perd son identité propre et circule sur internet en tant que membre d'une classe de flux. L'approche de DiffServ permet donc à des fournisseurs d'offrir différents niveaux de services à certaines classes de flots de trafic rassemblés [26].

Cette architecture utilise les différents types de routeurs pour bénéficier ce type de service. Nous distinguons deux sous réseaux DS utilisant chacun les principes de DiffServ.

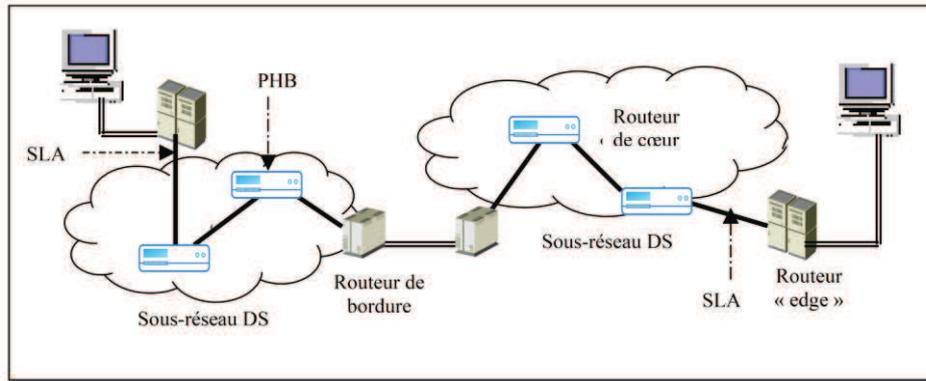


Figure II.8 : Éléments constitutifs d'un réseau DiffServ [33].

#### **II.4 Conclusion**

Parmi les contraintes des réseaux VANETs et MANETs sont les problèmes d'acheminement des données entre les nœuds mobiles du réseau et la QoS. Ces deux facteurs sont des mécanismes indispensables pour la gestion des données dans ces types de réseaux. Ce chapitre a inclus les détails de ces deux éléments en parcourant les différentes méthodes et techniques déployées pour chaque facteur.

Dans le prochain chapitre nous allons simuler sous NS2 et SUMO deux modèles de mobilité (CityMob et MOVE) dans les réseaux VANETs tout en effectuant une étude comparative de l'impact de chaque modèle implémenté sur les performances de ces réseaux.

# chapitre 03: Simulation et interprétation des résultats

## *SOMMAIRE*

### **III.1 Objectif**

### **III.2 Présentation des simulateurs**

#### **III.2.1 Sumo (Simulation of Urbain Mobility)**

#### **III.2.2 NS2 (Network Simulator)**

##### **III.2.2.1 Choix de NS2**

##### **III.2.2.2 Présentation du simulateur**

##### **III.2.2.3 Organisation du simulateur**

##### **III.2.2.4 Modèle de réseau sous NS2**

#### **III.2.3 Différents modèles de mobilité**

##### **III.2.3.1 Modèle de mobilité sous NS2**

##### **III.2.3.2 Modèle de mobilité pour VANETs**

### **III.3 Méthodologies de notre simulation**

#### **III.3.1 Environnement de simulation**

#### **III.3.2 Scénarios de simulation**

### **III.4 Conclusion**

### III.1 Objectif

La simulation effectuée dans le cadre de ce projet de fin d'étude nous a permis de définir un réseau VANETs de toutes les catégories et de simuler des communications entre les nœuds de ce réseau (les protocoles et les nouveaux modèles de mobilité). Ensuite nous avons anticipé les problèmes qui pourront se poser dans le futur en implémentant la technologie la mieux adaptée selon nos besoins.

Le but principal de notre application est d'étudier l'impact des modèles de mobilités (CityMob et Move) sur les performances des réseaux VANETs en simulant les paramètres caractéristiques sous des conditions urbaines. Pour cela, il existe plusieurs simulateurs VANETs dont les plus utilisés: SUMO (Simulation of Urban Mobility) et NS2 (network simulator version 2). Ce que nous allons détailler sur les sections suivantes.

### III.2 Présentation des simulateurs

#### III.2.1 SUMO (Simulation of Urban Mobility)

SUMO a été commencé à être mis en œuvre en 2001, avec une première version open source en 2002. SUMO [34] est un logiciel libre, hautement portable, forfait simulation microscopique du trafic routier conçu pour gérer de grandes voiries (Figure III.1).

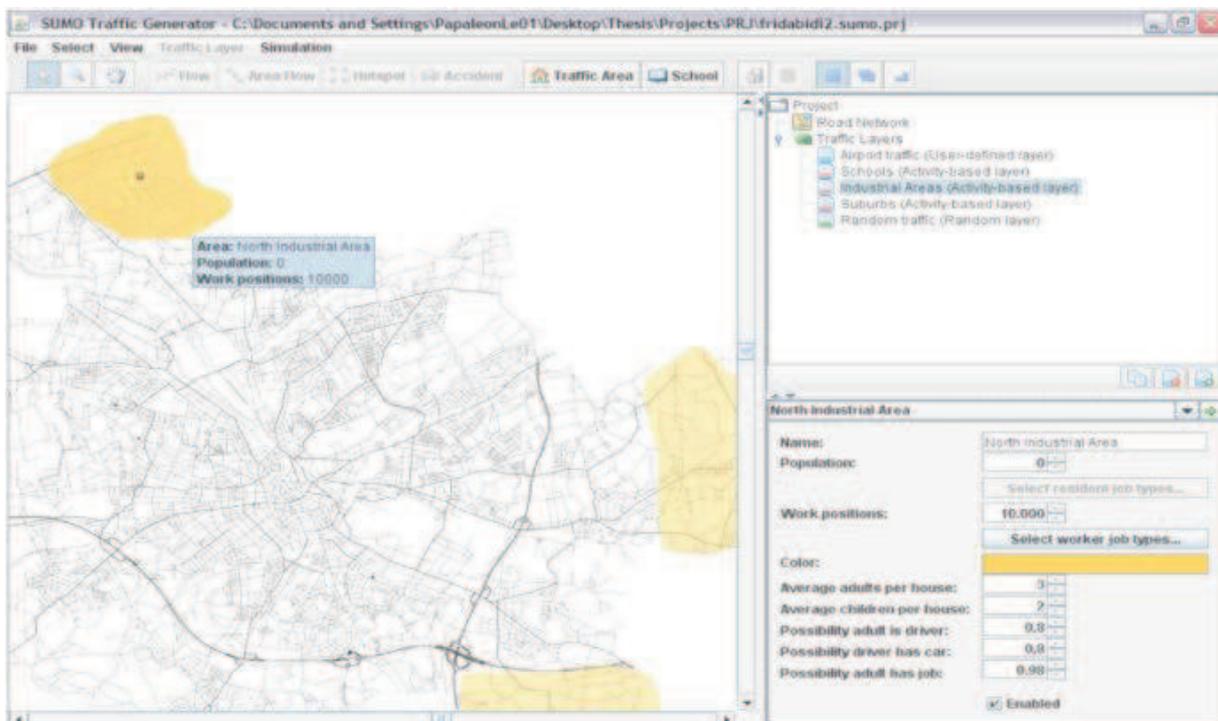


Figure III.1 : Capture d'écran de SUMO [34].

Ses principales caractéristiques comprennent le mouvement du véhicule sans collision, différents types de véhicules, un seul véhicule de routage multi-voies rues avec changement de file, la jonction base-droit de passage règles, la hiérarchie des types de jonction, une interface OpenGL utilisateur graphique (GUI) et le routage dynamique. SUMO peut gérer des environnements de grande densité. Il peut simuler le trafic dans des endroits différents du globe. Toutefois, étant donné que SUMO est un générateur de trafic pur, ses traces générées ne peuvent pas être directement utilisées par les simulateurs de réseaux disponibles, ce qui est une grave lacune.

### III.2.2 NS2 (Network Simulator)

#### III.2.2.1 Choix de NS-2

Notre choix s'est porté sur le Network Simulator NS2 et ceci pour les raisons suivantes:

- ❖ Son modèle libre permet l'ajout très rapide de modèles correspondant à des technologies émergentes. Ceci le rend meilleur logiciel de simulation par événements discrets d'après les spécialistes des télécommunications.
- ❖ Le logiciel NS2 est fourni avec une interface graphique (NAM) permettant de démontrer le fonctionnement des réseaux.
- ❖ Il permet d'étendre le simulateur et de le personnaliser, et il donne une liberté de programmation vu qu'il est fourni avec son code source qu'on peut modifier et recompiler autant qu'on le souhaite.

Nous avons testé et simulé nos scénarios sous la plateforme Windows pour la simple raison que NS2 est nettement plus facile à installer et à configurer sous cette plateforme que sous Linux [35]. La version ns-allinone-2.29.2 a été exploitée pour ce projet.

#### III.2.2.2 Présentation du simulateur

NS est un outil de simulation de réseaux informatiques développé lors d'un projet de la DARPA. Il permet la simulation d'un grand nombre de réseaux locaux et/ou étendus, filaires ou sans fils. C'est un moyen de modélisation qui est à la portée de tout le monde (open source). Le logiciel est exécutable tant sous Unix et Windows [35]. Il est principalement bâti avec les idées de la conception par objets, de réutilisation du code et de modularité.

Le NS2 est écrit sur la base du langage C++, avec un interpréteur OTCL au devant. A travers TCL, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation qui sont: la topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés, les communications qui ont lieu.

NS2 est en réalité un programme relativement complexe écrit en C++ et interfacé via Tcl. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++ qui en réalise l'implantation.

Ce simulateur contient les fonctionnalités nécessaires à l'étude des algorithmes de routage unicast ou multicast, des protocoles de transport, de session, de réservation, des services intégrés, des protocoles d'application comme FTP. A titre d'exemple la liste des principaux composants actuellement disponibles dans NS par catégorie est:

- ❖ Application : Web, ftp, telnet, générateur de trafic (CBR...).
- ❖ Transport : TCP, UDP, RTP, SRM.
- ❖ Routage unicast : Statique, dynamique (vecteur distance).
- ❖ Routage multicast : DVMRP, PIM.
- ❖ Gestion de file d'attente : RED, DropTail, Token bucket.
- ❖ Discipline de service : CBQ, SFQ, DRR, Fair Queueing.
- ❖ Système de transmission : CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point [36].

### III.2.2.3 Organisation du simulateur

Pour effectuer une simulation sous NS2, l'utilisateur écrit un ensemble des commandes dans un fichier texte appelé script OTcl qui décrit l'environnement de la simulation: La topologie du réseau, les caractéristiques des liens physiques, les protocoles utilisés...

NS2 interprète le script OTcl et exécute la simulation. Les résultats obtenues (fichier trace et fichier NAM) peuvent être visualisés avec l'outil NAM (Network Animator) et analysés avec des courbes tracés par l'outil Xgraph (Un traceur de graphes) [35].

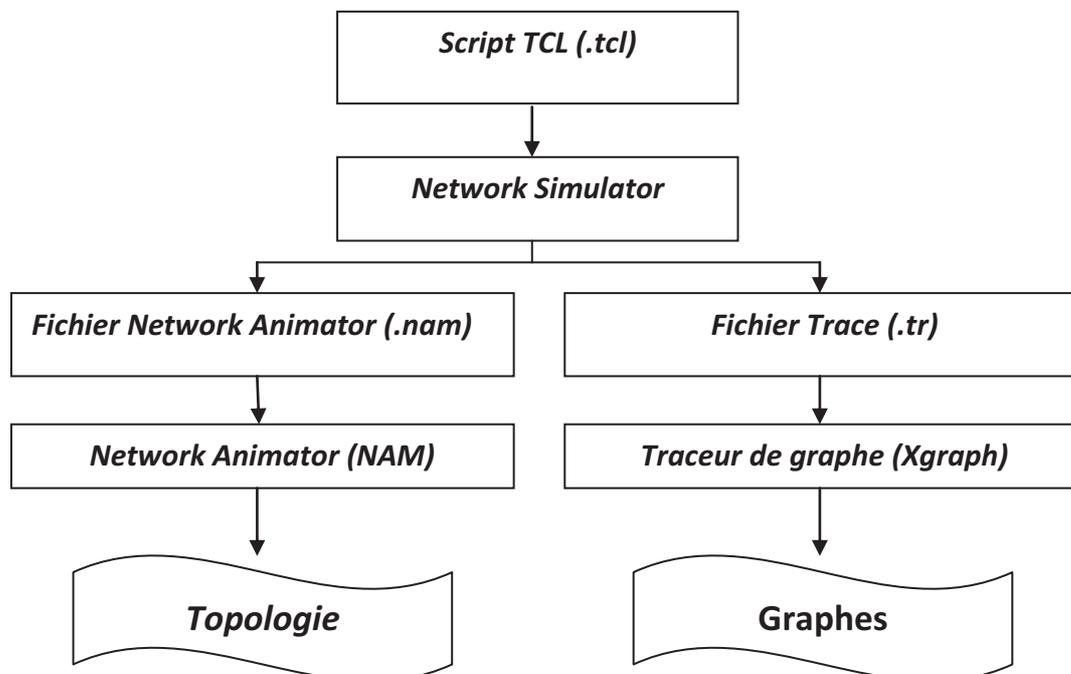


Figure III.2 : Flot de simulation avec NS2.

**❖ TCL/OTCL/TK :**

- ✚ *TCL (Tools Command Language):* est un langage interprété, traité par un interpréteur TCL (NS per exemple). Les programmes écrits en Tcl sont en fait des fichiers texte constitués des commandes. Ces fichiers nommés scripts.
- ✚ *OTCL:* est une extension orienté objet de Tcl, il utilise les fonctions standards du langage Tcl mais également ajoute des commandes à l'interpréteur.
- ✚ *TK (Tool Kit):* est un langage interprété permet de construire des interfaces graphiques.

**❖ Network Animator :**

NAM est un outil de visualisation qui présente deux intérêts principaux: représenter la topologie d'un réseau décrit avec NS-2, et afficher temporellement les résultats d'une trace d'exécution NS-2. Par exemple, il est capable de représenter des paquets TCP ou UDP, la rupture d'un lien entre nœuds, ou encore de représenter les paquets rejetés d'une file d'attente pleine. Ce logiciel est souvent appelé directement depuis les scripts TCL pour NS-2, de sorte à visualiser directement le résultat de la simulation.

**❖ Xgraph :**

Xgraph est un outil permettant de tracer des courbes à partir des tableaux des données de x/y. Il permet de manipuler la taille de l'ensemble de données générées sur le fichier de simulation en cours.

**❖ Fichier trace :**

Le fichier trace est un fichier qui retrace tous les évènements qui se sont produits pendant la simulation à savoir émission, réception, temps simulé auquel chaque évènement est arrivé. Il contient aussi: le type, la taille et la perte de paquets ainsi que leurs passages entre les différentes couches de modèle TCP/IP [35].

**III.2.2.4 modèle de réseau sous NS**

Un modèle de réseau sous NS est constitué:

- ❖ Nœuds de réseau: présentent les différentes machines du réseau, qui peuvent être des postes fixes, des routeurs, des nœuds mobiles, etc.

- ❖ Liens: représentent les connexions présentes entre les nœuds. Ils modélisent le système de transmission. On peut régler le type de lien, le débit, le temps de latence ainsi que le comportement de la file d'attente de communication entre les nœuds.
- ❖ Agents: rattachés à des nœuds, ils définissent les producteurs et les consommateurs de paquets IP comme par exemple: TCP, UDP...
- ❖ Applications: rattachés à un agent producteur, elles permettent de générer du trafic comme par exemple : CBR, FTP, WEB [37].

### III.2.3 Différents Modèles de mobilité

Un modèle de mobilité reflète le comportement spatiotemporel des nœuds mobiles dans un réseau, où le but est de représenter au mieux les conditions de déplacements dans un contexte particulier du monde réel. Faisant partie intégrante du modèle de simulation, les performances des solutions (protocoles, modèles, architectures ou autres) proposées dans les réseaux sont fortement dépendantes. Par conséquent, une attention particulière doit être accordée à la conception et la définition d'un modèle de mobilité, considérant les caractéristiques et les contraintes de l'environnement modélisé [38].

#### III.2.3.1 Modèles de mobilité sous NS2

Ns-2 définit trois modèles de mobilités :

##### ❖ **Random Waypoint Model (RWM):**

Dans ce modèle la mobilité des nœuds est typiquement aléatoire. En effet, la destination et la vitesse de chaque nœud mobile, désirent se déplacer, est aléatoire, et est limité à un intervalle bien déterminé. Après son déplacement le nœud mobile s'immobilise pour un temps fini, puis se déplace à nouveau de la même manière que la première fois, et cela jusqu'à la fin de la simulation.

##### ❖ **Random Direction Model (RDM) :**

De la même façon que le modèle précédant (RWM), la destination ainsi que la vitesse du nœud sont choisies aléatoirement. Mais dans le modèle RDM, le nœud en déplacement doit atteindre les bornes de la surface de simulation, puis s'immobilise. Une fois le nœud immobile, et dans un intervalle de  $180^\circ$  par rapport à la position d'arrêt (borne atteinte), le nœud mobile peut entreprendre à nouveau son mouvement aléatoire.

##### ❖ **Le modèle Random Walk:**

Ce modèle est développé pour imiter un mouvement imprévisible. Un nœud mobile dans ce modèle se déplace de son endroit courant à un nouvel endroit en choisissant aléatoirement une direction et une vitesse suivant lesquelles il se déplace. La nouvelles vitesse et direction toutes les deux sont choisies dans des gammes prédéfinies, [speed min, speed max] et  $[0, 2\pi]$  respectivement. Un nœud mobile atteignant la frontière de simulation,

rebonds avec l'angle déterminé par la direction entrante et puis continue le long du nouveau chemin. [33]

### III.2.3.2 Modèles de mobilité pour VANET

Pour les réseaux VANETs, il existe d'autres modèles de mobilité qui sont basés sur les déplacements des véhicules suivant des plans de routes réels et spécifiques. Parmi ces modèles, nous avons:

#### ❖ Le modèle Manhattan :

Le modèle Manhattan a étudié le comportement de taxi. Il modélise la ville, une grille de modèle de Manhattan avec une longueur de bloc uniforme à travers le secteur de simulation. Il assume que toutes les rues sont bidirectionnelles, avec une ruelle dans chaque direction. Des mouvements de taxi sont contraints par ces dernières ruelles. Un taxi est caractérisé par une vitesse préférée, une maximum accélération et décélération, une variation de vitesse liée à la vitesse préférée à l'équilibre, et une liste de destinations préférées, c.-à-d., les stands de taxi. Les taxis sont aléatoirement assignés une des trois vitesses préférées [39].

#### ❖ Le modèle VanetMobiSim :

Ce modèle est un simulateur pour VANETs, qui utilise le modèle de conducteur intelligent (IDM : Intelligent Driver Model) pour déterminer la vitesse des véhicules [40].

#### ❖ Le modèle Straw :

Le modèle de mobilité Straw est un modèle de voiture simple est incorporé avec un contrôle de trafic pour présenter la congestion véhiculaire. STRAW se fonde sur des plans de rue pour construire une carte de route pour la région spécifique de cible. Il fournit également au moins une ruelle dans chaque direction sur laquelle les véhicules peuvent se déplacer. Pour déterminer les positions initiales des véhicules sur le champ, il emploie un modèle aléatoire de placement de rue qui place un véhicule dans une ruelle d'une rue juste avant une intersection. Si un autre véhicule est déjà dans cette ruelle, le nouveau véhicule est placé derrière l'existant [41].

#### ❖ Le modèle FreeSim

FreeSim est un simulateur entièrement personnalisable macroscopique et microscopique de trafic d'écoulement libre, qui permet de systèmes multiples autoroute pour être facilement représenté et chargé dans le simulateur, comme une structure de données graphique avec des poids déterminés par le bord speeds. Les véhicules à FreeSim peuvent communiquer avec le système suivant du trafic sur les autoroutes, ce qui rend FreeSim idéal pour systèmes de transport intelligents (STI) de simulation [42].

#### ❖ Le modèle CityMob

CityMob est un générateur de modèle de mobilité particulièrement conçu pour étudier différents modèles de mobilité dans VANETs, et leur impact sur les performances de communication d'inter-véhicule. Cet outil est complètement compatibles avec l'outil de la simulation ns-2, et a été développé dans C. CityMob crée les scénarios urbains de mobilité et simule les voitures endommagées utilisant le réseau pour envoyer l'information à d'autres véhicules, essayant d'empêcher des accidents ou des embouteillages [43].

#### ❖ Le modèle MOVE

Move est un modèle de mobilité VANETs qui utilise le compilateur SUMO [44]. Il est composé de deux éléments: le rédacteur en chef feuille de route et l'éditeur de mouvement du véhicule. Le premier sert à la main et génère aléatoirement une feuille de route, soit à partir de TIGER / Line [45] des fichiers ou des fichiers Google Earth, tandis que le second permet de spécifier les propriétés de chaque véhicule comme la vitesse maximale, l'accélération, la probabilité de tourner à la croisée des chemins et le chemin à prendre. Les informations recueillies par les deux éditeurs est envoyé au compilateur SUMO.

#### ❖ Le modèle SSM, PTSM et TLM

La différence principale de ces modèles Stop Sign Model (SSM), Probabilistic Traffic Sign Model (PTSM) [46] et Traffic Light Model (TLM) est fondamentalement l'algorithme employé pour reproduire des signes d'arrêt. Toutes les routes sont modelées en tant que routes bi-directionnelles, les SSM et PTSM assument une voie unique dans chaque direction de chaque route, tandis que TLM fournit l'option pour modeler les ruelles multiples [47].

### **III.3 Méthodologies de notre simulation**

Pour les protocoles de routage, le simulateur NS2 supporte quatre protocoles dont trois sont réactifs (AODV, DSR et TORA) et un est proactif (DSDV). Dans notre application, nous avons choisit parmi ces protocoles, deux protocoles réactifs, l'algorithme AODV et l'algorithme DSR et un protocole proactif, c'est l'algorithme DSDV.

Pour atteindre notre objectif, nous avons simulé les paramètres caractéristiques de la qualité de service (QoS). Il s'agit de tracer des courbes représentatives pour ces paramètres telle que: La bande passante, le taux de perte de paquets et le délai pour les trois protocoles de routages cités ci-dessus. Pour cela, nous avons intégrés dans nos scénarios deux modèles de mobilité CityMob et MOVE sous NS2.

### III.3.1 Environnement de simulation

La simulation de tous les environnements consiste à contrôler deux types de paramètres:

- ❖ **Paramètres variables:** qui permettent la prise de mesure nécessaire à la réalisation des tests de chaque modèle de mobilité.
- ❖ **Paramètres constants:** on peut résumer les points suivants:

#### Modèle de simulation

Notre simulation se fait sur le NS version 2.29.2, exécuté sous Windows.

Le tableau suivant (Tableau III.1) résume les constantes utilisées dans cette simulation :

Paramètres	Valeurs
Type de canal	Channel/Wireless Channel : canal sans fil.
Couche MAC	IEEE 802.11
Type d'antenne	Omni Antenna : Omnidirectionnel
Type d'interface de réseau	Phy/WirelessPhy
Modèle de propagation radio	TwoRay Ground
Couche de lien ( Link Layer)	LL
Surface de simulation	602*702 m <sup>2</sup>
Nombre de véhicule	30
Temps de simulation	300 s
Protocole de routage	AODV, DSR, DSDV

**Tableau III.1 :** Paramètres de simulation.

#### Modèle de trafic:

Pour le modèle de trafic, nous avons utilisé une source (fichier) de trafic à débit constant (CBR).

Les générateurs de trafic entre les nœuds sont caractérisés par les paramètres mentionnés sur le tableau suivant:

Paramètres	Valeurs
Taille de paquets	512 octets
Intervalle enter paquets	0.25 s
Maximum de paquets	50
Nombre de connexion CBR	15

Tableau III.2 : Paramètres de générateur de trafic.

 Modèle de mobilité :

Comme il a été mentionné auparavant, deux modèles de mobilité ont été exploités: CityMob et MOVE. Ces deux modèles sont utilisés pour simuler des scénarios de mobilité dans le réseau VANET à l'échelle urbaine tenant en compte les accidents de voitures.

- **CityMob:** La figure III.3 représente l'interface de CityMob avec leurs paramètres caractéristiques.

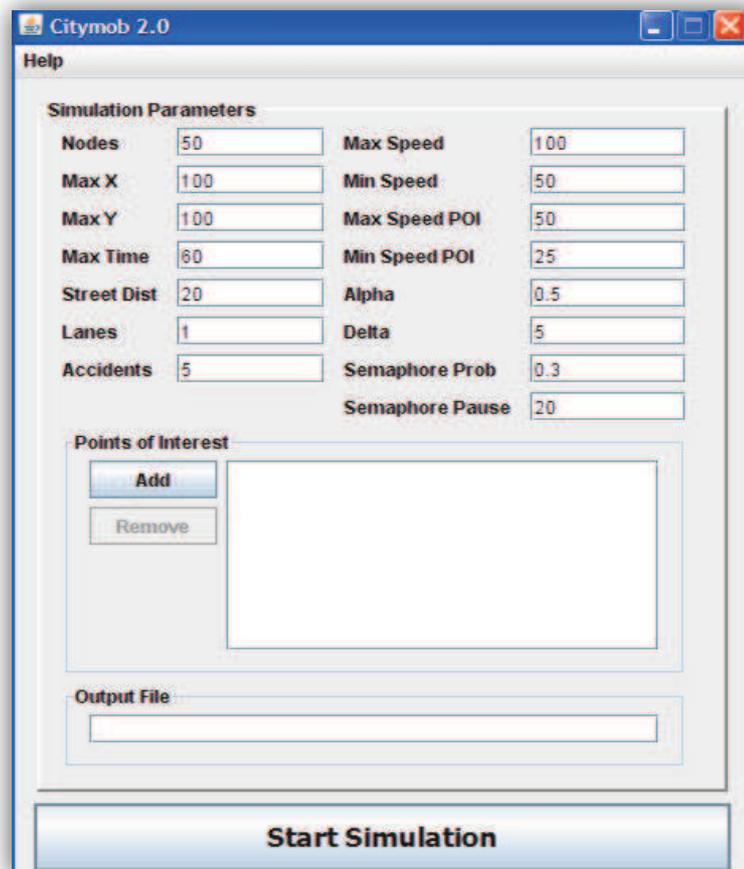


Figure III.3 : Interface du modèle de mobilité CityMob.

Nous allons expliquer maintenant chaque paramètre à part pour le modèle CityMob:

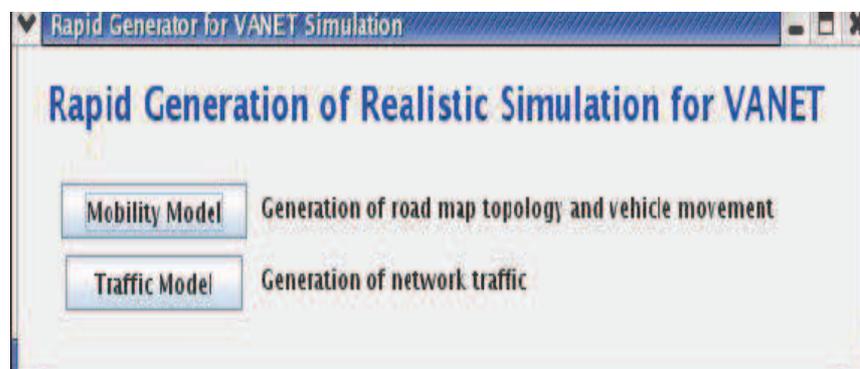
- **Nodes:** Nombre des nœuds dans la simulation.
- **Max X:** Largeur de la carte (mètres).
- **Max Y:** Longueur de la carte (mètres).
- **Max Time:** Temps maximum de simulation.
- **Street Dist:** Distance entre les rues (mètres).
- **Lanes:** Nombre de ruelle par rue (minimum 1).
- **Accidents:** Nombre d'accidents dans la simulation.
- **Max Speed:** Vitesse maximum d'un nœud (km/h).
- **Min Speed:** Vitesse minimum d'un nœud (km/h).
- **Max Speed POI:** Vitesse maximum d'un nœud près d'un point d'intérêt (km/h).
- **Min Speed POI:** Vitesse minimum d'un nœud près d'un point d'intérêt (km/h).
- **Alpha:** Probabilité pour qu'un nœud visite un point d'intérêt (0.0-1.0)
- **Delta:** Distance minimum entre les nœuds (mètres).
- **Semaphore Prob:** Probabilité de trouver un feu rouge quand un nœud atteint sa cible.
- **Semaphore Pause:** Temps maximum qu'un nœud peut être arrêté à un feu rouge (secondes).

Le tableau suivant résume les valeurs introduites pour ces paramètres concernant CityMob:

Paramètres	Valeurs
Nodes	30
Max X	602
Min Y	702
Max Time	300
Street Dist	20
Lanes	1
Accidents	0
Max Speed	50
Min Speed	30
Max Speed POI	30
Min Speed POI	15
Alpha	0.5
Delta	5
Semaphore Prob	0.3
Semaphore Pause	20

**Tableau III.3 :** Paramètres de générateur de modèle de mobilité (CityMob).

➤ ***MOVE (Rapid Generation of Realistic Simulation for VANET)***



**Figure III.4 :** Interface du modèle de mobilité MOVE.

L'interface de MOVE contient deux configurations: Mobility Model et Traffic Model.

▪ Mobility Model (Modèle de mobilité) :

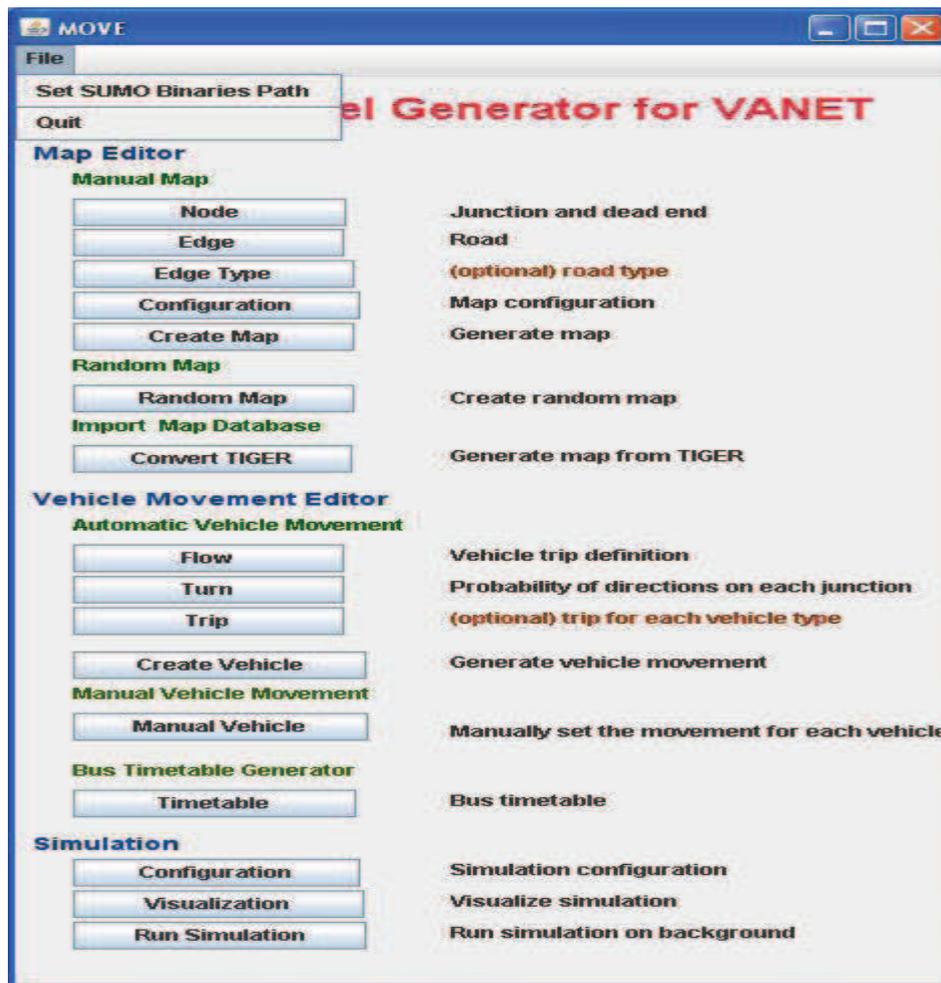


Figure III.5 : Interface de MOVE (Mobility model).

Cette catégorie est caractérisée par les paramètres cités ci-dessous:

- **Node** : nœuds (X, Y, Traffic Light).

Par exemple :

ID	X	Y	Traffic Light
Node1	100	100	+

+ : il existe de trafic.

- **Edge** : Route (du nœud, au nœud, vitesse, priorité, nombre de rues).

Par exemple :

ID	From Node	To Node	Type	N° Lanes	Speed	Priority
EdgeR0-0	Node1	Node2		1	40	75

- **Edge Type** : Type de la route.
- **Configuration** : Configuration de route (nombre de rues, vitesse maximum, priorité de routes).

Par exemple :

N° Lanes	Speed	Priority
1	40	75

- **Creat Map** : Création de la carte.
- **Random Map** : Carte aléatoire (nombre de jonctions pour X et Y, Longueur de route dans les directions horizontales et verticales, Nombre de haches dans le filet, Nombre de cercles dans le filet, Les distances entre les cercles).

Par exemple:

Number of junction in both x-y directions	Length of roads in both horizontal and vertical directions	Number of axes within the net	Number of circles within the net	The distances between the circles
1	100	3	3	30

- **Convert TIGER** : Produire une carte TIGER.
- **Flow** : Déplacement de véhicule (du route, au route, début, fin, nombre de voitures).

Par exemple :

ID	From Edge	To Edge	Begin	End	N° Vehicules
Flow0	edgeD-2-0	edgeD-0-2	0	300	30

- **Turn** : Probabilité de directions sur chaque nœud (début, fin, du route, au route, pourcentage).

Par exemple :

Begin	End	From Edge	To Edge	Percentage
0	30	edgeR-2-0	edgeR-2-1	0.4

- **Trip** : Voyage pour chaque type de véhicule.
- **Create vehicle** : Création de véhicules.
- **Manual vehicle** : Placer manuellement le mouvement de chaque véhicule.
- **Timetable** : Horaire d'autobus (vitesse maximum, accélération, décélération).

Par exemple :

Maximum Speed	Acceleration	Deceleration
50	0.8	0.4

Pour la simulation, nous avons trois paramètres:

- **Configuration**: Configuration de simulation.
  - **Visualisation**: Visualiser la simulation.
  - **Run simulation**: Exécuter la simulation.
- **Traffic Model** :

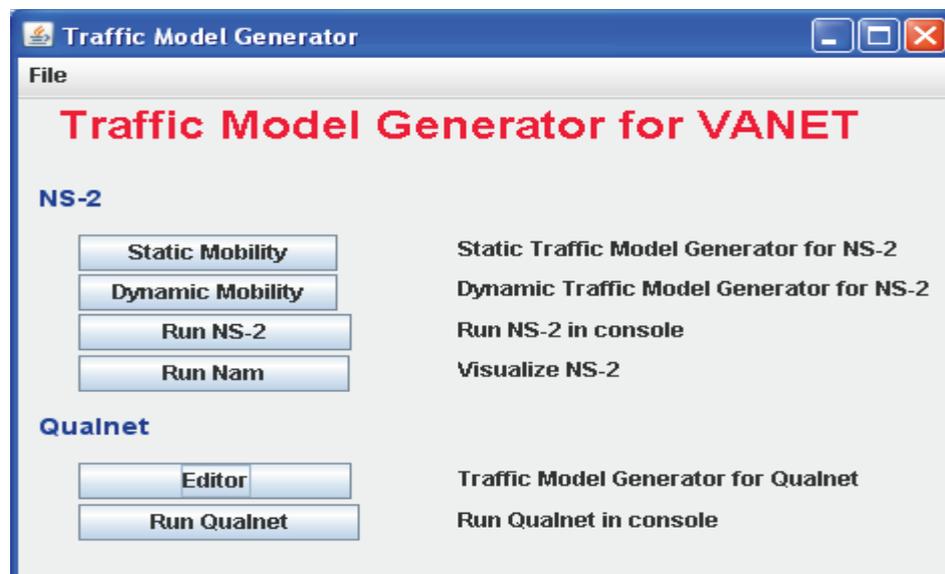


Figure III.6 : Interface de MOVE (Traffic Model ).

Cette interface contient les paramètres suivants :

- **Static Mobility** : Générateur statique de modèle du trafic pour NS2 (les options des agents : UDP et TCP, Frontière de topologie(X, Y), Temps d'arrêt de simulation).

Par exemple :

Topology Boundary		Simulation Stop Time	Agents Options						
X	Y	300 s	UDP			TCP			
602	702		Packet Size	Sending Rate	Maximum packets	Packet size	Window size	Maximum Burst	Maximum Cwnd
				512	64Kb	50	512	20	0

- **Dynamic Mobility** : Générateur dynamique de modèle du trafic pour NS2.
- **Run NS-2** : Courir ns-2 dans la console.
- **Run Nam** : Visualiser NS-2.

Dans notre simulation nous avons simulé 30 nœuds en introduisant les valeurs de l'exemple précédent.

Dans les sections suivantes nous allons présenter les scénarios simulés avec l'interprétation des résultats obtenus de chaque cas.

### III.3.2 Scénarios de simulation

Dans notre simulation, nous proposons deux scénarios différents avec deux modèles de mobilité sous des environnements urbains. Nous modulons dans les deux scénarios une ville avec un bloc uniforme de taille 602m\*702m à travers le secteur de simulation. Tous les rues sont unidirectionnelles (une seule direction). Les mouvements de voitures sont contraints par ces dernières ruelles. Les nœuds se déplacent aléatoirement par le biais des modèles de mobilité (CityMob et MOVE) avec une vitesse que nous avons fixée dans notre cas entre 30 et 50 km/h.

D'ailleurs, ces modèles simulent des positions de sémaophores au hasard, et avec un délai différent (dans notre cas, nous utilisons 20s). Quand un véhicule rencontre un sémaophore, il reste en attente jusqu'au tour de sémaophore de devenir vert. Tandis que les véhicules endommagés resteront arrêtés pendant le temps entier de simulation. (Dans notre travail, ce paramètre est nul : nombre d'accident=0)

Afin de bien différencier et choisir le meilleur entre les deux modèles utilisés, nous proposons une étude comparative des trois protocoles de routage cités auparavant avec leurs paramètres de QoS.

➤ Le protocole AODV

✚ Délai :

La figure III.7 présente la variation de délai en fonction de temps de simulation, pour les deux modèles de mobilité (CityMob et MOVE).

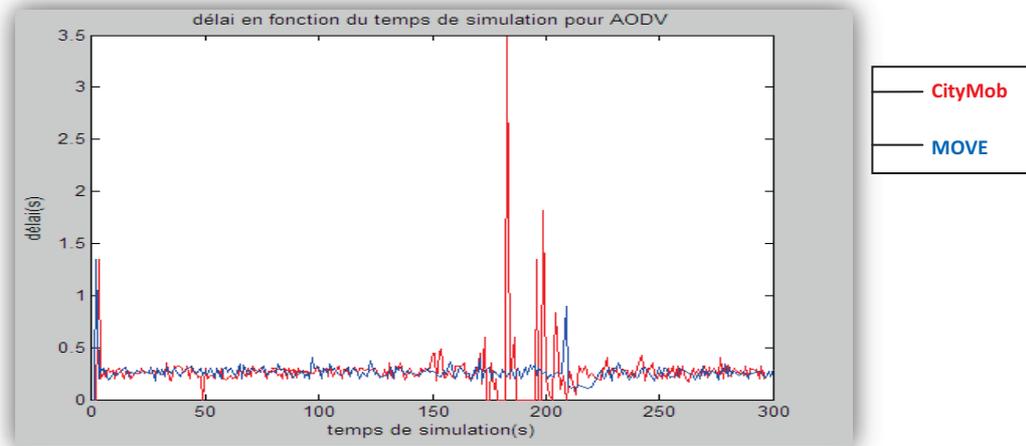


Figure III.7 : Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

D'après la figure III.7, nous remarquons que les deux modèles de mobilité ont le même délai au début. Après un certain temps de simulation, CityMob présente moyennement un délai grand par rapport au modèle MOVE, mais à la fin de simulation, le délai revient le même pour les deux modèles.

✚ Bande passante :

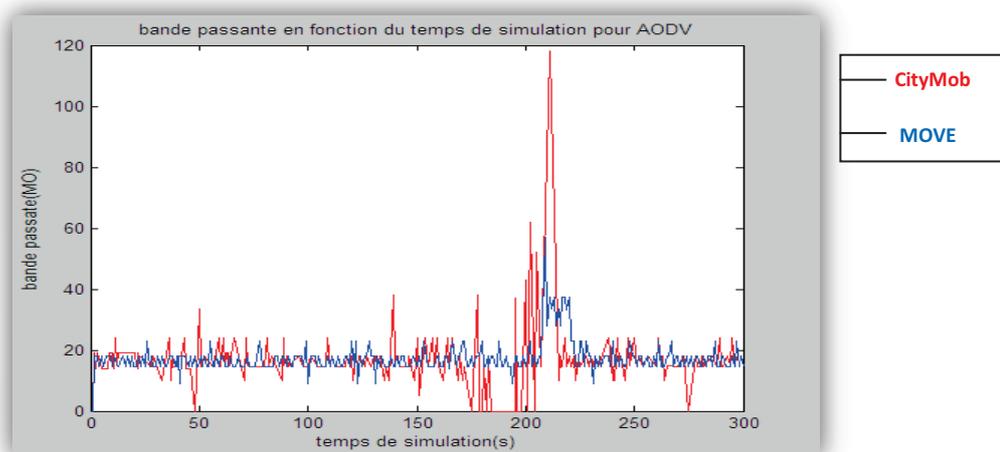
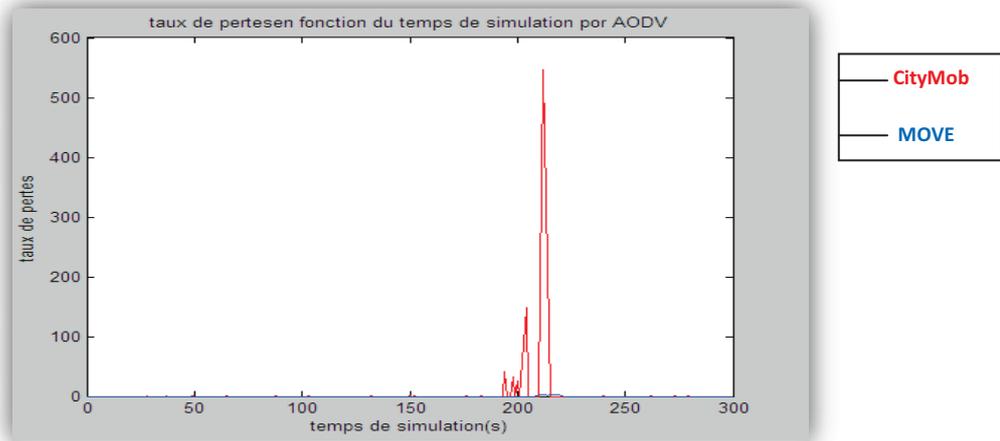


Figure III.8 : Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

La figure III.8 présente la différence entre les deux modèles CityMob et Move en terme de bande passante. Pendant toute la simulation, le modèle CityMob consomme une bande passante grande par rapport au MOVE, et ceci est dû au taux de changement de topologie.

 Taux de pertes :

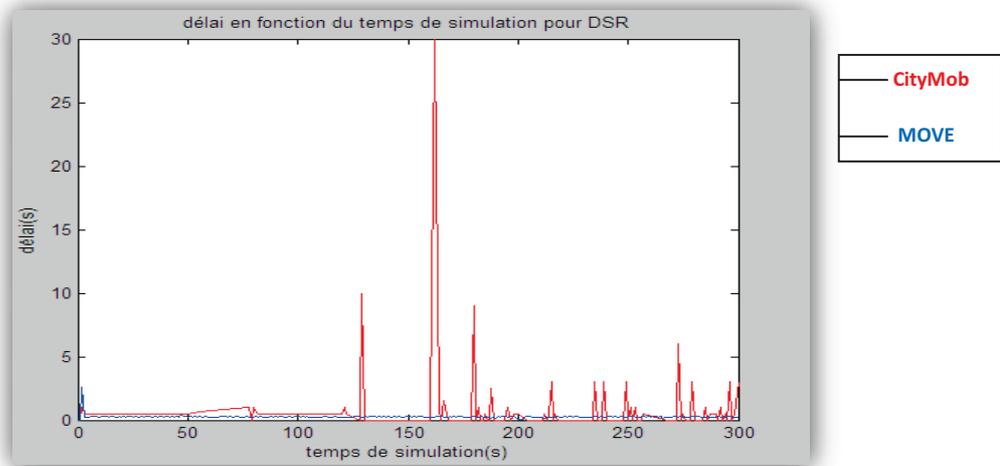
La figure suivante présente la différence entre les deux modèles de mobilité CityMob et MOVE en de taux de perte.



**Figure III.9:** Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

D'après les courbes de cette figure, nous remarquons que le modèle MOVE présente les meilleurs résultats pour le taux de perte, et ça revient aux informations qui circulent dans un chemin prédéfinie. Contrairement au CityMob qui présente une quantité des pertes importante car son mouvement est dans toutes les directions (aléatoire).

Nous allons refaire les mêmes études précédentes pour le deuxième protocole (DSR).

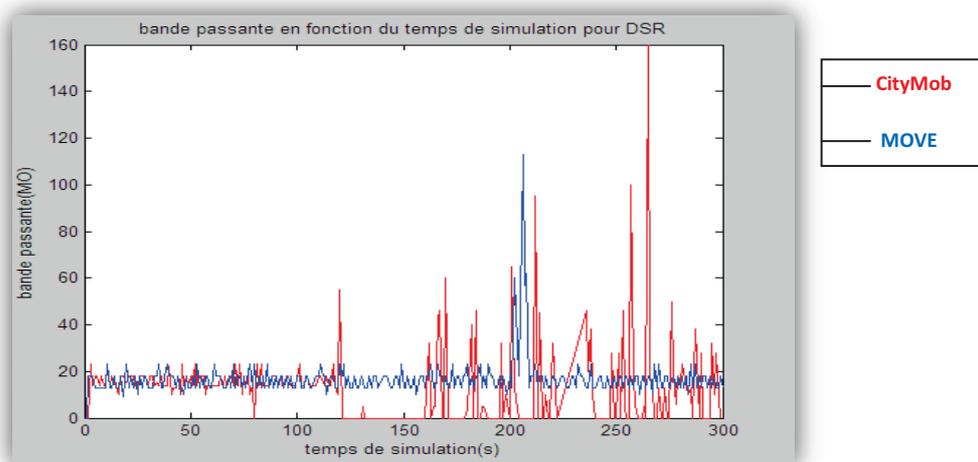
Le protocole DSR✚ Délai :

**Figure III.10 :** Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et MOVE.

Les deux courbes de la figure III.10 présente la différence entre les deux modèles de mobilité CityMob et MOVE en terme de délai avec le protocole de routage DSR. Ce dernier présente un grand délai pour le CityMob, car le mouvement est aléatoire, contrairement au MOVE qui a des résultats excellents.

✚ Bande passante :

La figure suivante présente la différence entre CityMob et MOVE en terme de bande passante pour le protocole DSR.



**Figure III.11 :** Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move

Au début de simulation, les bandes passantes sont presque les mêmes ; à partir de 120s, le CityMob consomme moyennement une bande passante grande par rapport au MOVE.

✚ Taux de pertes :

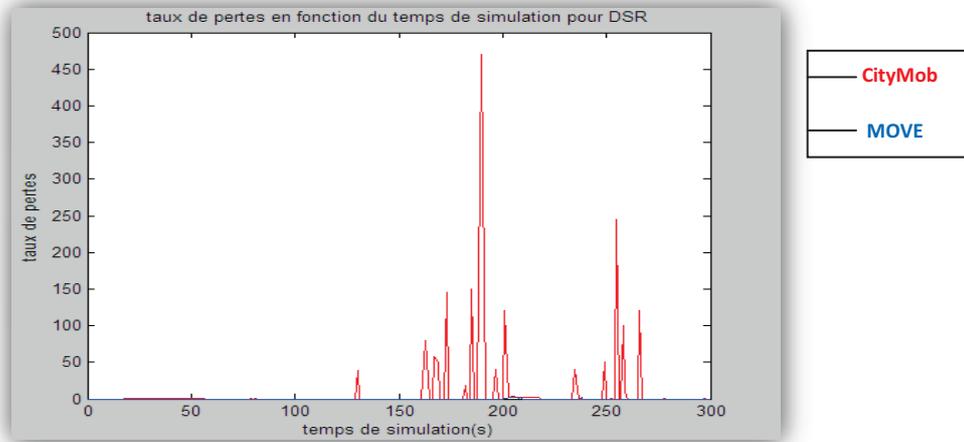


Figure III.12 : Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

Sur la figure III.12, on détecte clairement que le modèle MOVE se comporte mieux que CityMob en terme des paquets perdus.

Maintenant, nous allons étudier les résultats de simulation avec le protocole DSDV.

➤ Le protocole DSDV :

✚ Délai :

La figure III.13 illustre les deux courbes de délai pour CityMob et MOVE.

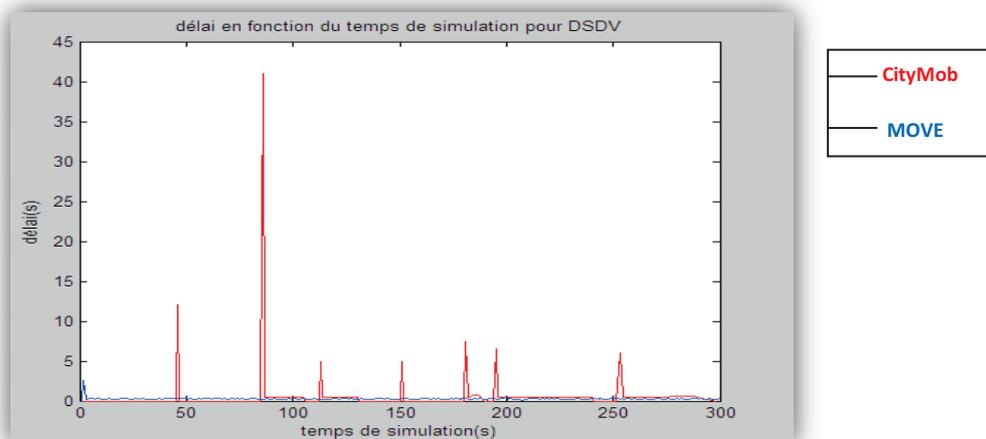
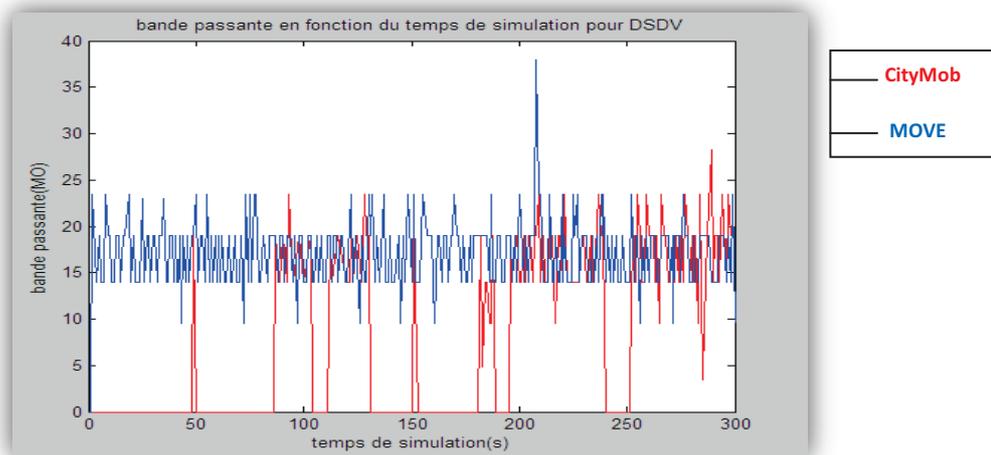


Figure III.13: Délai en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

D'après les graphes de la figure III.13, nous remarquons clairement que MOVE comporte mieux que CityMob en terme de délai.

#### Bande passante :

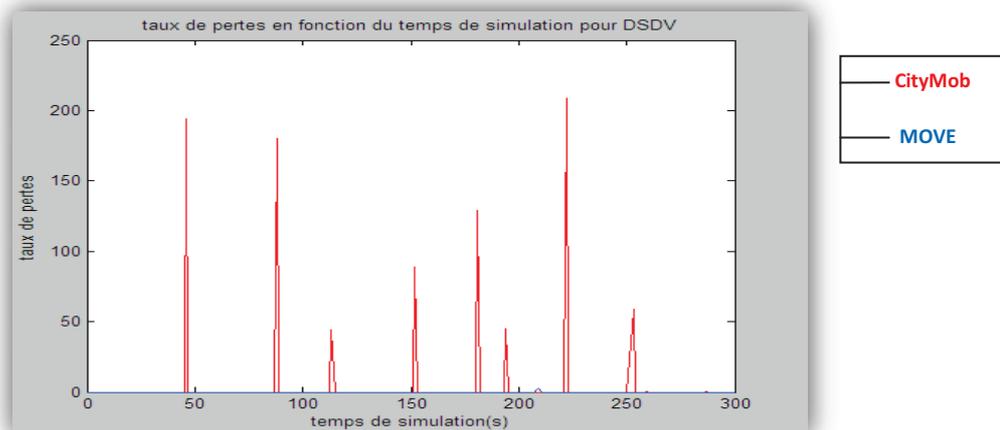
La figure suivante illustre la différence entre les deux modèles de mobilité CityMob et MOVE en terme de bande passante concernant le protocole DSDV.



**Figure III.14:** Bande passante en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

Nous remarquons que le résultat de la figure III.14 pour MOVE est globalement offert une bande passante plus grande et instable par rapport au CityMob.

#### Taux de pertes :



**Figure III.15:** Taux de pertes en fonction du temps de simulation pour CityMob et Move.

Les résultats de la figure III.15 montre clairement la différence entre CityMob et MOVE en terme de taux de pertes pour le protocole DSDV. Pour ce paramètre, MOVE aussi se comporte mieux que CityMob dans cette simulation.

### ***III.4 Conclusion***

Dans ce chapitre, nous avons étudié l'impact des modèles de mobilité sur les performances de notre réseau véhiculaire. C'est pour cela nous avons réalisé une simulation sous NS2, elle attache une étude comparative entre deux modèles de mobilité : CityMob et MOVE au niveau d'une ville.

La simulation a révélé que le modèle MOVE offre des meilleurs résultats que l'autre pour les trois paramètres de QoS testés (le délai, la bande passante et le taux de pertes), quelque soit le protocole utilisé (AODV, DSR OU DSDV) dans l'environnement urbain.



*Conclusion générale*

## ***Conclusion générale***

Depuis quelques années, le développement des nouvelles technologies a défendu une formidable évolution des réseaux véhiculaires. Cette évolution mire à rendre les réseaux plus sûrs, plus efficaces, plus fiables et plus écologiques sans avoir nécessairement à modifier matériellement l'infrastructure existante. Les réseaux véhiculaires sont en effet une classe émergente des réseaux mobiles Ad Hoc.

Dans ce contexte, ce mémoire s'est plus précisément intéressé aux problématiques des communications réseaux dans les systèmes ITS. Notre objectif est d'étudier l'impact des modèles de mobilité sur les performances des réseaux VANETs.

Dans un premier temps, nous avons présenté les principaux concepts, spécificités et challenges liés aux réseaux de véhicules incluant le facteur clé ce type des réseaux qui le mécanisme de mobilité.

Ensuite, nous avons apporté quelques solutions à certains challenges et problèmes liés aux communications inter-véhicules dans un environnement urbain, et plus précisément aux problématiques de routage et de qualité de service dans la partie ad hoc du réseau de véhicules.

Les résultats de simulations obtenus ont montré clairement que le modèle de mobilité MOVE est le plus adapté dans ce type de réseau par rapport au modèle CityMob, en termes de paramètres de qualité de service pour les différents protocoles de routage (AODV, DSR ou encore DSDV).

### ***Perspectives***

Comme suite de ce travail nous proposons comme perspectives d'étendre cette étude vers d'autres modèles de mobilité qui peuvent contenir plus d'information possibles. Ainsi, nous proposons notre simulation sous plusieurs environnements: urbain, rural et autoroute, avec l'intégration d'autres protocoles.



*Bibliographie & références*

# *Bibliographie & Références*

- [1] Sorin Paun Laurentui, «Gestion de la mobilité dans les réseaux ambiants »Thèse de doctorat, Instirtut national polytechnique de grenoble 2005.
- [2] S.Rimour, « Généralité sur les réseaux: chapitre 1 », IVT c.f département informatique, France, mars 2002.
- [3] C. BURGOD, « Contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc, » Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2009.
- [4] SANGARE Sory, « optimisation d'un protocole de routage proactifs dans les réseaux Ad hoc, »université ABOU BEKR BELKAID-TLEMCEN présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, 2011.
- [5] Noureddine CHAIB, « La sécurité des communications dans les réseaux VANETs, » université ELHADJ LAKHDER – BATNA présenté en vue de l'obtention du diplôme Magister en Informatique, 2010.
- [6] Patrick MARLIER, « Communications optimisées dans un réseau véhiculaire ad hoc multi-sauts, » Université de Technologie de Compiègne. Février 2007 – Juillet 2007
- [7] "Car-To-Car Consortium", Documentations et outils disponibles sur internet 2009. <http://www.car-2-car.org>. (Dernière visite juillet 2010).
- [8] J.-P. Hubaux, « The Security and Privacy of Smart Vehicles. Presentation at ZISC Information Security Colloquium », England, Novembre 2004.
- [9] M. JERBI, "Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections," Universite D'EVRY VAL D'ESSONNE thèse de doctorat, 2008.
- [10] S. N. Pathak and U. Shrawankar, "Secured Communication in Real Time VANET," in *Proceedings of the 2009 Second International Conference on Emerging Trends in Engineering & Technology*, Nagpur, 2009, pp ( 1151-1155).
- [11] M. Fiore, J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet, "Vehicular Mobility Simulation for VANETs," in *Proceedings of the 40th Annual Simulation Symposium*, Norfolk, VA, 2007, pp (301-309).

[12] Documentations et outils disponibles sur internet 2007. [http://share.esi.dz/index.php?option=com\\_docman](http://share.esi.dz/index.php?option=com_docman) & task=doc.

[13] Sidi Mohamed SENOUCI, Rabah MERAIHI, Djamel-Eddine MEDDOUR, Moez JERBI, « communication véhicule à véhicule applications et perspectives », chapitre sur la communication dans les réseaux VANETs et les applications, France, 2006.

[14] BOUSMAHA Meryem, BOUZIANE Asma, « étude et implémentation d'un protocole VANETs de diffusion de message de détresse », université ABOU BEKR BELKAID-TLEMENEN présenté pour l'obtention du diplôme de Master en Télécommunication, 2011.

[15] Anne WEI, « Algorithmes de routage dans les réseaux MANET », London, 2007.

[16] TRAN Quoc Tuan, « Protocoles de routage dans les réseaux multi-radios mobiles », Rapport de travail personnel, Institut de francophonie pour informatique, Juin-2009.

[17] BERRACHEDI AMEL, DIARBAKIRLI AMINA, Sécurisation du protocole de routage hiérarchique LEACH dans les réseaux de capteurs sans fils », Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en informatique, Ecole Nationale Supérieure d'Informatique (E.S.I) Qued-Smar, Alger, 2008/2009.

[18] Yacine KHALED, « Contributions aux communications dans les réseaux de véhicules- Application à la pré-visibilité de route », Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur de l'UTC, soutenue le 26 Novembre 2007.

[19] T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouti, P. Muhlethaler, A. Qayyum, and L. Viennot Optimized link state routing protocol In Proceedings of IEEE International Multitopic Conference INMIC, Pakistan, 2001.

[20] PERKINS Charles, BHAGWAT Pravin, *Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers*. In : ACM Conference, London, 2010.

[21] BOUKHECHEM Nadhir, « Routage dans les réseaux Ad hoc par une approche à base d'agents DANS », rapport de mémoire pour l'obtention du diplôme du magister, Université de Constantine, 25/06/2008.

[22] Y. Ko and H. Kung. Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. In Fourth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pages (66\_75), Dalas, Texas, USA, 1998.

[23] I. Basagni, S. Chlamtac and V. Syrotiuk. A distance routing effect algorithm for mobility (DREAM). In Fourth annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, pages 76\_84, Dalas, Texas, USA, 1998.

[24] Rabah MERIAHI, « Gestion de la qualité de service et contrôle de topologie dans les réseaux Ad hoc. PhD thesis, Ecole nationale supérieure des télécommunications, France, 2004.

[25] H.Badis and K. Al Agha. QoS for Ad hoc networking based on multiple-metrics : Bandwidth and delay. In IFIP MWCN'03 : Mobile and Wireless Communications Networks, Singapore, Octobre 2003.

[26] Malika BELKADI Ep SAAD, « Contrôle intelligent de flux capable de s'adapter à l'état d'un MANET », Thèse de Doctorat en informatique, Université Mouloud MAMMARI de TIZIOUZOU. 2007.

[27] MOUSSAOUI. Djilali, ETCHIALI. Abdelhak. « La qualité de service dans les réseaux IP », Mémoire de fin d'étude, département d'informatique, Faculté des sciences de l'ingénieur, Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen, 2003/2004.

[28] Olivier Dugeon, « Architectures des réseaux pour le contrôle de la QoS », Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Orange Labs, Institut National Polytechnique de Toulouse, LAAS-CNRS, 18 décembre 2008.

[29] « La qualité de service dans les réseaux vanets », Documentation disponible sur site internet.

[http://www.commentcamarche.net/s/La QoS dans les réseaux vanets](http://www.commentcamarche.net/s/La%20QoS%20dans%20les%20r%C3%A9seaux%20vanets)

[30] Robert Braden, Lixia Zhang, Steven Berson, Shai Herzog, ET Sigih Jamin: Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification. Internet Request For Comments RFC 2205, Internet Engineering Task Force, Septembre 1997.

[31] Robert Braden, David Clark, ET Scott Shenker: Integrated Services in the Internet Architecture: An Overview. Internet Request for Comments RFC 1633, Internet Engineering Task Force, Juin 1994.

[32] Steven Blake, David Black, Mark Carlson, Elwyn Davies, Zheng Wang, ET Walter Weiss: An Architecture for Differentiated Services. Internet Request for Comments RFC 2475, Internet Engineering Task Force, Décembre 1998.

[33] BOUKENADIL Bahidja, « Etude de la QoS dans les réseaux VANETs », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en télécommunication, Université ABOU BEKR Belkaid TLEMEN, 2010.

[34] Roger Calzada Cañero, « Performance evaluation of realistic scenarios for Vehicular Ad hoc Networks with VanetMobisim and NS2 simulator », université de Catalonia, 2011.

[35] Yassine Maryahi, « Routage dans les réseaux véhiculaires (VANETs) Cas d'un environnement d'une ville », mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de magister en informatique, Université M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES ,2011.

[36] Mehdjouba AMMANI et Leyla LAOUFI , « Etude et simulation de l'interopérabilité entre WIFI-WIMAX »,mémoire pour l'obtention du diplôme de Ingénieur d'état de télécommunication, Université ABOU BEKR BELKAID , Tlemcen, 2010

[37] Youssef BADDI, « Introduction au simulateur réseau NS2 », 2011.

[38] Mohammed SENOUCI, Rabah MARAIHI, Djamel-Addine MEDDOUR, Moez JERBI , « Communications véhicule à véhicule : applications et perspectives », France, 2006.

[39] E. Huang, W. Hu, J. Crowcroft, and I.Wassell, "Towards commercial mobile ad hoc network applications: A radio dispatch system," in Sixth ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MobiHoc 2005), Urbana-Champaign, Illinois, May 2005.

[40] J. Haerri, M. Fiore, F. Filali, and C. Bonnet, "Vanetmobisim: generating realistic mobility patterns for vanets," in ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2006), Los Angeles, California, September 2006.

[41] D.R. Choffnes and F.E. Bustamante, "An integrated mobility and traffic model for Vehicular wireless networks," in ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET 2005), Cologne, Germany, September 2005.

[42] "FreeSim", Documentation et outils disponibles sur internet 2008.  
<http://www.freewaysimulator.com/>

[43] F. J. Martinez, J.-C. Cano, C. T. Calafate, and P. Manzoni, "Citymob: a mobility model pattern generator for VANETs". IEEE Vehicular Networks and Applications Workshop (Vehi-Mobi, held with ICC). Beijing, Mai 2008.

[44] SUMO "Simulation of Urban Mobility. <http://sumo.sourceforge.net/>".

[45] D. B. J. Amit Kumar Saha, "Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks", Germany, October 2004.

[46] A. Mahajan, N. Potnis, K. Gopalan, and A.-I. A. Wang, "Urban mobility models for VANETs", Orlando, July 2004.

[47] A. Mahajan, N. Potnis, K. Gopalan, and A. Wang, "Evaluation of mobility models for vehicular ad-hoc network simulations," in IEEE International Workshop on Next Generation Wireless Networks (WoNGeN 2006), Bangalore, India, December 2006.