

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/339596606>

Application et Modélisation d'un Protocole de Communication pour la Sécurité Routière

Thesis · October 2014

CITATIONS

4

READS

29

3 authors:



Bektache Djamel

Université Mohamed Chérif Messaadia de Souk-Ahras

6 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Cherif Tolba

Badji Mokhtar - Annaba University

28 PUBLICATIONS 278 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Zouzou Nacira

lettre arabe

3 PUBLICATIONS 11 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



traffic [View project](#)



Diagnostic et pronostic des systèmes complexes à grandes échelle: Application au problème de transport [View project](#)

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR - ANNABA UNIVERSITY

جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA



Année : 2013/2014

Faculté des Sciences de l'Ingéniorat
Département d'Informatique

Thèse

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de

Doctorat 3ème Cycle LMD

**Application et Modélisation d'un protocole
de communication pour la sécurité routière**

Option : Réseaux et Sécurité Informatique

Par

Djamel BEKTACHE

DIRECTEUR DE THESE : **Pr. GHOUALMI Nassira Zine**

CO- DIRECTEUR DE THESE: **MCA TOLBA Cherif**

Devant le Jury

PRESIDENT : **Djellab Natalia**

Pr. Université d'Annaba

EXAMINATEURS : **HAFFAF Hafid**

Pr. Université d'Oran

Kechar Bouabdellah

MCA Université d'Oran

BABES Malika

MCA Université d'Annaba

Remerciements

Je tiens tout d'abord à manifester ma plus profonde gratitude et sincère reconnaissance envers mes deux encadreurs Madame Nassira Ghoulmi Zine et Monsieur Cherif Tolba pour m'avoir offert la possibilité de réaliser ce travail, Mme GHOUALMI pour m'avoir permis d'intégrer son équipe au sein du laboratoire Réseaux et Systèmes et avoir dirigé mes travaux de thèse. Je la remercie très sincèrement pour son encadrement, son soutien, son aide précieuse et sa confiance sans lesquels ce travail n'aurait pas été ce qu'il est. Mes remerciements s'adressent également à M. Cherif TOLBA pour avoir codirigé ce travail, et m'avoir permis découvrir et apprécier un champ d'investigation nouveau pour moi, sa confiance, sa disponibilité, sa rigueur scientifique, ses critiques avisées et ses précieux conseils m'ont aidé et motivé dans la réalisation de cette thèse.

Je remercie Madame N. DJELLAB, Professeure à l'Université d'Annaba d'accepter d'être présidente du jury.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des membres du jury H.HAFFAF, B.KECHAR, M.BABESS d'avoir accepté d'être examinateurs de cette thèse.

Je remercie Monsieur R. MERZOUKI qui m'a accueilli pendant le stage effectué au sein de son équipe au laboratoire LAGIS à Lille (France).

Je tiens à remercier tout particulièrement toutes les personnes qui m'ont accompagné durant cette formation et qui ont contribué de près ou de loin à ce travail.

Je tiens à remercier mes parents qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu.

Résumé

Les réseaux **VANET** appartiennent à un domaine de recherche d'actualité à savoir les communications V2V et leur apport à la sécurité routière. La collision et sa prévention dans ce type de réseaux est une problématique très intéressante par sa dimension humaine et économique. En Algérie, le nombre des accidents de la route ne cesse de croître. La situation est devenue préoccupante vu le nombre de victimes qui dépasse celui recensé suite à des maladies mortelles ou des catastrophes naturelles. Dans ses conditions, **la sécurité routière** est devenue un sujet transversal dans le contexte de cette thèse, elle concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route. Des études montrent que la plupart des collisions pourraient être évitées si les usagers de la route étaient alertés juste à temps. La **communication V2V** est vue comme une solution prometteuse pour les systèmes de transport intelligents, elle est considérée comme l'une des solutions qui permettent aux véhicules d'échanger des informations pertinentes à savoir (position, vitesse, accélération, angle de braquage).

La modélisation et la simulation sont utilisées comme outils de conception et de tests pour le développement de nouvelles approches de communications. Nous avons proposé une nouvelle architecture de communication dans un réseau VANET. La notion d'estimation des paramètres microscopiques (position, vitesse et la direction) est la clé de cette architecture, elle est basée sur la modélisation cinématique de type véhicule et la méthode de Filtre de Kalman dans les estimations des trajectoires. La communication des messages est établie entre des entités du même réseau : le véhicule en question (SV) et ses véhicules voisins (OV) par le biais d'une norme sans-fil appelée DSRC (Dedicated Short Range Communication), qu'est un nouveau standard dédié aux communications inter véhicules. Nous nous sommes intéressés dans cette thèse à la conception, la modélisation et à la simulation d'une approche de prédiction FCAA (Forecasting collision Avoidance Approach). Cette approche est basée sur la détection, la prédiction et l'évitement de la collision. L'approche proposée a été validée par la simulation de scénarios d'intersections réels extraits de la ville d'Annaba. Les résultats obtenus démontrent que **l'approche FCAA** dans l'évitement des collisions est validée avec un taux significatif.

Les mots clés : les réseaux VANET, la communication V2V, la sécurité routière, collision, estimation, évitement, DSRC.

الملخص

تعد شبكات السيارات فانيت (VANET) من بين ميادين البحوث العلمية الحالية بالإضافة إلى الاتصالات بين مختلف سيارات الشبكات ومساهمتها في الأمن عبر الطرقات.

الوقاية من الحوادث في مثل هذه الشبكات هي مشكلة مثيرة للاهتمام بحجمها الإنساني والاقتصادي، ففي الجزائر لا تزال حوادث الطرقات في تزايد مستمر، الحالة أصبحت مقلقة وهذا ما يفسره عدد الضحايا الذي يفوق عدد الضحايا المسجلين من الأمراض والكوارث الطبيعية. الأمن عبر الطرقات يعد محورياً أساسياً ضمن هذه الأطروحة، حيث أنه يخص مجموعة من المعارف، التدابير والأجهزة اللازمة لتجنب وقوع هذه الحوادث.

تشير الدراسات إلى أن معظم الحوادث يمكن تجنبها وهذا إذا تم تنبيه مستخدمي الطرقات في الوقت المناسب، يعتبر الاتصال من سيارة إلى سيارة (V2V) حل واعد لأنظمة النقل الذكية، تعتبر من الحلول التي تعتمد على تبادل مختلف المعلومات بين السيارات (الموقف، السرعة، التسارع، زاوية التوجيه).

تستخدم النمذجة والمحاكاة كأدوات تصميم واختبار لاكتشاف وتطوير مناهج وطرق جديدة للاتصالات، قمنا في هذه الأطروحة باقتراح أسلوب اتصال جديد داخل شبكة فانيت، مفتاح هذا الأسلوب هو تقدير المعلومات الجوهرية المذكورة سابقاً. يعتمد هذا الأسلوب على النمذجة الحركية لنوع السيارة وطريقة كالمـن فيلتر (Kalman Filtre) في تقدير مسارات السيارات. إيصال الرسائل بين مختلف السيارات، يتم بين السيارة المرسلـة (الأساسية SV) والسيارات المجاورة لها (OV) عن طريق المعيار اللاسلكي (DSRC) المخصص للاتصالات قصيرة المدى، والمستعمل خصيصاً في الاتصالات ما بين السيارات.

في هذه الأطروحة اهتمينا بنمذجة، تصميم ومحاكاة نموذج تنبؤ جديد لتفادي الحوادث، يعتمد النموذج المقترح على تنبؤ بالحادث، التحقق من صحة وقوعه ثم تفاديه، تم التحقق من صحة النموذج المقترح بمحاكاة سيناريوهات على ملتقى الطرق مستنبطة من سيناريوهات حقيقية من مدينة عنابة، حيث بينت النتائج أن النموذج المقترح مكن من تجنب الاصطدام بمعدل كبير.

Abstract

VANET networks belong to a current research field, namely vehicle to vehicle (V2V) communications and their contribution to road safety. Collision and its prevention in such networks is a very interesting problem by its human and economic dimension. In Algeria the number of the road accidents does not cease increasing. The situation has become worrying. This is explained by the number of victims which exceeds that listed following fatal diseases or natural disasters. In these conditions, road safety has become a cross-cutting issue in the context of this thesis, it relates to the body of knowledge, devices and measures to avoid road accidents. Studies show that most collisions could be avoided if road users were alerted in time. V2V communication is seen as a promising solution for intelligent transport systems, it is considered one of the solutions that allow vehicles to share relevant information i.e. (position, speed, acceleration, steering angle). Modeling and simulation are used as design tools and testing for the development of new communications approaches. We proposed a new communication architecture in a VANET network, the concept of estimating microscopic parameters (position, speed and direction) is the key of this architecture, it is based on the kinematic modeling of vehicle type and method of Kalman filter in the trajectories estimation. Communication messages is established between entities in the same network : the subject vehicle (SV) and its neighboring vehicles (OV) through a wireless standard called DSRC (Dedicated Short Range Communication) , that is a new standard dedicated to inter vehicle communication. In this thesis, we are interested at the design, modeling and at the simulation of a proposed prediction approach – FCAA- (Forecasting Collision Avoidance Approach), this approach is based on the detection, prediction and avoidance of the collision. The proposed approach has been validated by simulating real-world intersections scenarios extracted from the Annaba city. The results show that the FCAA approach to collision avoidance is enabled with a significant rate.

Keywords: VANET networks, V2V communications, road safety, collision, estimation, avoidance, DSRC.

Table des matières

1. Introduction Générale

1.1. Contexte et Problématique.....	1
1.2. Objectifs et Motivations.....	4
1.3. Organisation de la thèse	6

2. Les systèmes de transports intelligents et les techniques de Communications

2.1. Introduction.....	8
2.2. Contexte, services et domaines d'applications des STI.....	9
2.2.1. Origines et définitions	9
2.2.2. Contexte et Services des STI.....	10
2.2.3. Domaine d'applications et l'utilisation des STI.....	11
2.3. Fonctionnement des ITS	13
2.3.1. Technologies des STI.....	13
2.3.2. Principe de fonctionnement d'un STI.....	15
2.3.2.1. Acquisition de données	17
2.3.2.2. Obtention des informations.....	18
2.3.2.3. Communications et échanges de données.....	19
2.3.2.4. Utilisation d'informations.....	21
2.4. Architectures et normes des STI.....	21
2.4.1. Architecture logique	22
2.4.2. Architecture physique	23
2.4.3. Normes des STI.....	25
2.5. Etude de cas d'un système VICS au Japon.....	27
2.6. La sécurité routière et les STI.....	29
2.7. Conclusion.....	31

3. Les réseaux véhiculaire

3.1. Introduction	32
3.2. Définitions, propriétés et services	32
3.3 Caractéristiques des réseaux VANET	34
3.4. Applications des réseaux VENET.....	35
3.4.1. Catégorie de la sécurité routière	35
3.4.2. Catégorie de la gestion du trafic routier	37

Table des matières

3.4.3. Catégorie confort	38
3.5. Architectures des réseaux véhiculaires.....	40
3.5.1. Communication Véhicule à Véhicule (V2V).....	40
3.5.2. Communication Véhicule à Infrastructure(V2I).....	41
3.5.3. Communication Hybride	41
3.6. Les technologies de communication dans un réseau VANET.....	42
3.6.1. Les techniques de communication par radio diffusion.....	42
3.6.2. Les techniques de communication sans fil.....	43
3.6.2.1. Les systèmes cellulaires	44
3.6.3.2. Les techniques sans fil	45
3.6.3. Activités de Standardisation sur les communications véhiculaires.....	46
3.6.3.1. DSRC	47
3.6.3.2. Le standard IEEE 802.11p.....	48
3.6.3.2.1. <i>La couche physique</i>	48
3.6.3.2.2. <i>La couche MAC</i>	49
3.6.3.3. WAVE	50
3.7. Les projet de recherches	52
3.8. Etat de l'art sur les VANET.....	54
3.9. Conclusion.....	57

4. Modélisation et Simulation des réseaux véhiculaires

4.1. Introduction.....	58
4.2. Modélisation du trafic routier.....	58
4.2.1. Approche macroscopique.....	59
4.2.2. Approche microscopique	61
4.2.3. Approche mesoscopique	62
4.2.4. Modèle de particules « automates cellulaires »	63
4.2.4.1. <i>Règles de fonctionnement</i>	63
4.2.4.2. <i>Modèle de Nagel & Schreckenberg</i>	64
4.3. De la modélisation microscopique à la simulation des réseaux VANET.....	66
4.3.1. Processus de simulation dans VANET	67

Table des matières

4.3.1.1. Génération d'une mappe de simulation.....	67
4.3.1.2. Simulation de modèle de mobilité et génération du Trafic.....	67
4.3.1.3. Simulation de modèle réseau.....	69
4.4. Vue d'ensemble des simulateurs dans VANET	70
4.4.1. Simulateurs des modèles de mobilité et les générateurs de trafic.	70
4.4.2. Simulateurs de modèle réseau.....	74
4.5. Simulation des protocoles de routages.....	76
4.5.1. Protocoles de routage pour les MANET.....	76
4.5.2. Protocoles de routage pour les VANET.....	78
4.6. Etude et simulation d'un scénario (Mobilité, trafic et réseau).....	81
4.7. Conclusion.....	90
5. Eléments de modélisation et présentation de l'approche FCAA	
5.1. Introduction.....	91
5.2. La modélisation cinématique	92
5.2.1. Le modèle cinématique Uni-cycle de type bicyclette.....	92
5.2.2. Le modèle cinématique de type véhicule quatre roues.....	94
5.2.3. Validation du modèle par simulation.....	98
5.3. L'estimation de la trajectoire du véhicule.....	104
5.3.1. Utilisation de la modélisation cinématique (MMC).....	104
5.3.2. Utilisation de la modélisation par filtre de Kalman (MMK).....	106
5.4. L'architecture proposée sur un réseau de communication VANET.....	110
5.4.1. Présentation du module pronostic.....	111
5.5. Présentation de l'approche de prédiction et d'évitement de collision FCAA.....	113
5.5.1. Suppositions.....	113
5.5.2. Problématique	114
5.5.3. Description de scénario.....	114
5.5.4. Le concept de l'approche de prédiction proposée.....	116
5.5.5. Présentation de l'Algorithme FCAA.....	117
5.6. Conclusion.....	120

Table des matières

6. Simulation, Test et Résultats

6.1. Introduction	121
6.2. Application et simulation de l'approche FCAA sur un réseau VANET.....	122
6.2.1. Simulation d'un scénario sans FCCA.....	122
6.2.2. Simulation d'un scénario avec FCAA.....	123
6.3. Validation de l'approche FCAA par le simulateur SCANeR Studio.....	125
6.3.1. Le choix du simulateur.....	126
6.3.2. Présentation du simulateur SCANeR Studio.....	127
6.3.3. Conception de notre scénario de simulation en temps réel.....	132
6.3.3.1. <i>Mode terrain</i>	133
6.3.3.2. <i>Mode Véhicule</i>	134
6.3.3.3. <i>Mode scénario</i>	135
6.3.3.4. <i>Mode simulation</i>	136
6.3.3.5. <i>Mode Analyse</i>	137
6.4. Analyse comparative.....	139
6.5. Conclusion.....	141

7. Conclusion et perspectives

7.1 Conclusion Générale.....	142
7.2 Travaux réalisés.....	142
7.3 Perspectives	145

Bibliographie	146
----------------------------	------------

Webographies	154
---------------------------	------------

Productions scientifiques	156
--	------------

Liste des figures

Figure 2.1	Les composantes d'un système de transport intelligent.....	11
Figure 2.2	La chaine d'information des STI.....	16
Figure 2.3	Architecture logique pour les États-Unis.....	23
Figure 2.4	Architecture logique pour les États-Unis.....	24
Figure 2.5	Relations entre les types d'architecture.....	25
Figure 2.6	Vers une sécurité routière améliorée.....	30
Figure 3.1	La classification des applications dans les VANET.....	40
Figure 3.2	Communication véhicule à véhicule.....	41
Figure 3.3	Communication Véhicule à Infrastructure.....	41
Figure 3.4	Communication Hybrides (V2V, V2I).....	42
Figure 3.5	Les canaux disponibles sur la bande de fréquence DSRC.....	49
Figure 3.6	La pile protocolaire de DSRC.....	51
Figure 4.1	Les notations microscopiques	60
Figure 4.2	Illustration de la variable macroscopique « le débit ».....	61
Figure 4.3	Illustration de la variable macroscopique « la densité ».....	61
Figure 4.4	Illustration de la vitesse de flot.....	62
Figure 4.5	Diagramme Espace Temps dans un écoulement libre.....	65
Figure 4.6	Diagramme fondamental pour le modèle de Nagel-Schreckenberg... ..	65
Figure 4.7	Le processus de simulation dans les réseaux VANET.....	69
Figure 4.8	La classification des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc..	77
Figure 4.9	La classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET	81
Figure 4.10	La carte routière de teste réaliste.....	82
Figure 4.11	Le menu principal de simulateur MOVE.....	82
Figure 4.12	Le menu de la génération de mappe et mobilité.....	83
Figure 4.13	L'éditeur de la configuration de notre mappe.....	84
Figure 4.14	L'aperçu de notre mappe sous le simulateur SUMO.....	85
Figure 4.15	La création des véhicules.....	86
Figure 4.16	L'éditeur de la configuration de la simulation.....	86
Figure 4.17	La visualisation de la mappe avec un aperçu sur le nœud 11.....	87
Figure 4.18	La génération de script TCL.....	87
Figure 4.19	Les résultats de simulation.....	89
Figure 5.1	La modélisation cinématique d'un véhicule Uni-cycle.....	93

Liste des figures

Figure 5.2	Présentation des paramètres cinématique d'un véhicule.....	95
Figure 5.3	La modélisation cinématique de type véhicule.....	97
Figure 5.4	Le mouvement de véhicule dans le cas $\alpha = 0$ et $\varphi = 0$	99
Figure 5.5	Le mouvement de véhicule dans le cas $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/2$	100
Figure 5.6	La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi$	101
Figure 5.7	La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = -\pi/2$	101
Figure 5.8	La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/5$	102
Figure 5.9	La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = \pi/20$ et $\varphi = 0$	103
Figure 5.10	La représentation de systèmes d'état et les observations.....	104
Figure 5.11	Estimation de la trajectoire de véhicule par le modèle cinématique..	106
Figure 5.12	Principe de la méthode de filtre de Kalman.....	107
Figure 5.13	Estimation de la trajectoire de véhicule par La méthode de FKE.....	109
Figure 5.14	L'architecteur de modèle de communication propose.....	110
Figure 5.15	Le principe de fonctionnement de module pronostic.....	112
Figure 5.16	Présentation et description de scénario d'intersection.....	115
Figure 6.1	La simulation d'un scénario d'intersection sans l'approche FCAA..	123
Figure 6.2.a	La simulation de scénario avec FCAA (premier teste).....	125
Figure 6.2.b	La simulation de scénario avec FCAA (deuxième teste).....	125
Figure 6.3	Les Modules englobés par le simulateur SCANeR Studio.....	126
Figure 6.4	Les différents modes de simulation sans SCANeR studio.....	128
Figure 6.5	La représentation de mode terrain.....	129
Figure 6.6	La représentation de mode véhicule.....	130
Figure 6.7	La représentation de mode scénario.....	131
Figure 6.8	La présentation de mode simulation.....	132
Figure.6.9	La représentation des deux modes de terrains avant la finalisation..	133
Figure.6.10	La représentation des deux terrains après la finalisation.....	134
Figure 6.11	Le mode « véhicule »de type avancé pour le SV.....	135
Figure 6.12	La représentation d'un scénario avec le script de l'approche FCAA	136
Figure 6.13	La représentation de mode simulation de notre approche proposée..	137
Figure 6.14	Une représentation d'un véhicule SV dans le mode Analysis.....	138
Figure 6.15	La représentation des ensembles des collisions détectées et évitées..	138

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Technologies habilitantes des STI.....	14
Tableau 3.1. Une comparaison entre l'ancien et le nouveau DSRC	47
Tableau 3.2. Paramètres d'accès aux catégories et canaux	50
Tableau 4.1. Des scénarios selon la mobilité des nœuds et la charge du réseau.....	88
Tableau 5.1 Identification des paramètres du véhicule.....	95
Tableau 5.2 La correspondance risques- décisions.....	113
Tableau 6.1 Les données de simulation sans l'application de l'approche FCAA ...	122
Tableau 6.2 Les coordonnées de véhicule SV dans le premier test.....	124
Tableau 6.3 Les coordonnées du véhicule SV sans et avec FCAA dans le deuxième test	124
Tableau 6.4 représentation d'une étude comparative entre différentes approches..	140

Liste des Acronymes

A : Avoidance
AC: Access Classes
AC_e : Automate Cellulaire
ACC: Adapadive Cruise Control
AIFS : Arbitration Inter-Frame Space
AODV: Ad Hoc On Demand Distance Vector
ASS: Active SafetySystems
ASTM: American Society for Testing and Materials
AV: Abnormal Vehicle
AVI : Automatic Vehicles Identification
AVL: Automatic Vehicle Localisation
C: Collision
CA: Cooperative Awareness
CASS: Cooperative Active Safety System
CCW : Cooperative Collision Warning
CDA: Cooperative Driver Awareness
CDS: Cooperative Driver System
CoNa : coopérative navigation
CRI : Centre de Rotation Instantané
CSMA-CA: Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CW : Contention Window
D: Detection
DAB : Digital Audio Broadcasting
DAI : Détection automatique des incidents
DSDV : Destination-Sequence Distance Vector
DSR : Dynamic Source Routing
DSRC: Dedicated Short Range Communications
DTC : Distance To Collision
EDCA: Enhanced Distributed Channel Access
EWM : Emergency Warning Messages
FCAA: Forecasting Collision Avoidance Approach
FCC: Federal Commnications Commission
GNSS: Global Navigation Satellite System
GPRS : General Packet Radio Service

Liste des Acronymes

GPS: Global Positioning System
GSM: Global System for Mobile Communication
IDM : Intelligent driving model
IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineering
ITSA: Intelligent transportation society of America
KFE: Kalman Filtre Etendu
LCA: Lane Change Assistance
MANET: Mobile Ad hoc NETwork
MMK: Modélisation par la Méthode de Kalman Filtre
MMC: Modélisation par la Méthode Cinématique
MOVE: MObility model generator for VEhicular network
MP: Module Pronostic
NOW: Network On Wheels
NS2: Network Simulator
NVM : NeighboringVehicleMap
OBU: On Board Unit
OFDM: Orthogonal Frecancy division multiple Access
OLSR: Optimized Link State Routing
OSI: Open Systems Interconnection
OSM: OpenStreetMap
OV: Other Vehicles
P: La precision
PAD: Program Associated Data
PMD: Panneaux à message dynamique
RDS: Radio Data System
RDS-TMC: Radio Data System – Traffic Message Channel
RHCW: Road Hazard and Collision Warning
RSU: Road Side Units
RWP: Random Way Point
SCATS: Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)
SCOOT: Split, Cycle and Offset Optimization Technique
SIG: Système d'information géographique
STI: Systèmes de transports intelligents

Liste des Acronymes

SUMO : Simulation for Urban MObility

SV: Subject Vehicle

TCP-IP: Transfer control Protocol / Internet Protocol

TA: Traffic Announcement

TI : Transport intelligent

TIC : Technologies de l'information et de communication

TIGER: Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing system

TP: Traffic Program

TTC: Time To Collision

UDP: User Datagram Protocol

V2I: Vehicle-to-Infrastructure

V2V: *Vehicle-to-Vehicle*

VANET: Vehicular Ad hoc NETwork

VCWC: Vehicular Collision Warning Communication

VDEP : Vehicle data exchange protocol

VICS: Système d'Information et de Communication pour les Véhicules

VII: Vehicle infrastructure integration

VSC: Vehicle safety communication

WAVE : Wireless Ability in Vehicular Environment

WLAN: Wireless Local Area Network

WiMax : Worldwide Interoperability for Microwave Access

Z(r) : Zone de risque

Z(D_{coll}): La zone de collision

Chapitre I

Introduction générale

Chapitre 1 : Introduction Générale

« *La prévention des accidents de la circulation, a révélé que les accidents de route provoquent chaque année plus de 1,2 millions de décès et entre 20 à 50 millions de traumatismes non mortels.* »¹

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du **Laboratoire Réseaux et Systèmes** de **l'Université Badji Mokhtar Annaba**. Nous nous sommes intéressés dans le cadre de notre travail de recherche à la conception, la modélisation et à la simulation d'une approche de communication dans un environnement véhiculaire pour la sécurité routière. Dans l'introduction de ce manuscrit, nous présenterons d'abord le contexte et la problématique de cette thèse, par la suite nous décrivons l'objectif et les motivations de ce travail. **L'approche de communication et de prédiction** proposée *FCAA (Forecasting Collision Avoidance Approach)* a été validée par les résultats de plusieurs simulations extraites à partir des intersections réelles de la ville d'Annaba, elle est considérée comme une partie importante dans la réalisation de ces travaux. Enfin, nous décrivons le plan de cette thèse.

1.1. Contexte et problématique

Le progrès de l'industrie automobile est un facteur essentiel dans le développement de notre société moderne. Ce développement a provoqué la naissance et la croissance de plusieurs branches économiques. Le parc national automobile a recensé **4,5 millions** de véhicules la fin **2011**, le nombre a dépassé **les huit millions** à la fin de l'année **2013**. C'est-à-dire une augmentation du double en deux années. Une telle enquête a été réalisée par le ministère du transport en 2013. Cependant, l'augmentation du nombre de voitures et par conséquent des conducteurs a également contribué à l'augmentation du nombre des accidents. **En Algérie**, le nombre des accidents de la route ne cesse de croître. Face à cette croissance très importante du nombre de véhicules, le nombre des accidents, a lui aussi quadruplé. Le phénomène est en hausse, nous allons le constater à travers le nombre d'accidents et de morts recensés dans la dernière décennie **2001-2013**. En **2001**, le nombre des accidents était de **10.000**, aujourd'hui, il est de plus de **35.000** accidents. En douze ans, **40.000 citoyens** ont perdu la vie sur les routes, c'est l'équivalent du

¹Les résultats de l'enquête menée par l'OMS (Organisation Mondiale pour la Santé) en 2012.

Chapitre 1 : Introduction Générale

nombre d'habitants de cinq communes qui a été décimé, ce que rapportent les statistiques de la Gendarmerie nationale. Ceci s'explique par le nombre de victimes qui dépasse celui recensé suite à des maladies mortelles ou des catastrophes naturelles.

L'apparition des réseaux sans fil d'un côté et l'avancement des technologies de la communication et de l'information de l'autre, a donné lieu à la naissance de ce qu'on appelle les Systèmes de Transport Intelligents (*STI*). Il s'agit d'exploiter les technologies de communication existantes et de définir de nouvelles technologies pour assurer les échanges d'informations entre les différentes entités qui composent le système. La technologie de communication WiMax (*World wide Interoperability for Microwave Access*), les réseaux cellulaires et les réseaux satellitaires sont proposés pour assurer les communications à longue portée et permettre des services tels que la surveillance de l'état du véhicule, la localisation des véhicules, la diffusion des messages d'urgence et l'information sur le trafic. Une nouvelle technologie de communication dédiée spécifiquement aux STI s'est émergée. Cette technologie, nommée DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), supporte les communications à moyenne et à courte portée qui peuvent être de véhicules-à-infrastructure (*V2I Vehicle-to-Infrastructure*) ou en mode ad hoc de véhicule-à-véhicule (*V2V Vehicle-to-Vehicle*). En effet, en conjuguant les données issues de la cartographie (GPS : Global Positioning System) à celles détectées par les capteurs du véhicule (caméras, radars etc.) il devient possible de faire de cette interactivité une conduite coopérative.

Les réseaux **VANET** (*Vehicular Ad hoc NETWORK*) sont en effet une classe émergente des réseaux sans fil, ils peuvent être considérés comme une particularité des réseaux MANET (Mobile Ad hoc NETWORK) où les nœuds mobiles sont des véhicules intelligents, on parle de la notion de « véhicule intelligent » quand un véhicule est équipé de calculateurs, dispositifs de communications sans fil, cartes réseau et de capteurs. Alors, un réseau VANET est formé de plusieurs véhicules communiquant entre eux ou avec des stations fixes afin d'offrir une conduite collaborative sécurisée et un environnement plus sûr. Le présent travail de recherche se situe dans le contexte des systèmes de communications dans les réseaux VANET, et son but principal conduit à envisager la mise en place d'un système de communication entre véhicules, ce qui permettrait d'envisager des systèmes de détection, d'alertes et évitement des incidents.

Chapitre 1 : Introduction Générale

Dans notre thèse, nous nous intéressons davantage à la modélisation et à la simulation considérées comme outils de conception et de tests pour le développement de nouvelles approches de communications. Il en résulte que les solutions proposées contribuent à l'évitement d'un maximum de collisions. Ces solutions doivent être révisées et adaptées aux particularités et spécificités de l'environnement véhiculaires. L'une des applications clés des réseaux de véhicules étant la prévention et la sécurité routière. **La sécurité routière** est un sujet transversal dans le contexte de notre thèse, elle concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route ou à atténuer ses conséquences. Tous les accidents n'ont à priori que quatre causes possibles : le conducteur, le véhicule, l'infrastructure ou la rubrique « autre cause ». Or, plus de **90%** des accidents de la circulation sont causés par le facteur humain (mettent en cause la responsabilité du conducteur soit par négligence, soit par le manque d'information, etc.). Ce qui a motivé au départ, les chercheurs et constructeurs d'automobiles de se pencher sur le côté « Application d'aide à la conduite », en essayant d'équiper leurs véhicules avec des systèmes d'alarmes autonomes, systèmes régulateurs de vitesse, détection automatique d'incidents, mais la tendance est aujourd'hui à une approche intégrée et systémique, en liaison avec les motivations des autorités et les gestionnaires de trafic pour l'intégration des dispositifs de communication. Grâce à l'idée de la **communication V2V** que les voitures s'échangent des données telles que leur position, leur vitesse et leur direction respectives, ceci dans le but d'éviter les accidents en prévenant leurs conducteurs de dangers potentiels. Dans l'avenir, nos voitures vont en plus dialoguer entre elles et donc rouler en toute interactivité et sécurité.

Les problèmes routiers rencontrés par les automobilistes tiennent surtout à la communication inter véhiculaire. En fait, la majorité des accidents peuvent être évités si l'un des conducteurs soit alerté avant la présence de la collision. La question à laquelle nous allons apporter des éléments de réponse dans le cadre de cette thèse est : comment les conducteurs peuvent détecter et éviter un éventuel danger à l'avance ? Certaines recherches ne traitent pas réellement le problème de la sécurité routière, car les solutions proposées sont des messages d'alerte pour des dangers déjà survenus ou bien sont des messages d'information.

Chapitre 1 : Introduction Générale

La **communication V2V** est l'une des solutions qui permettent aux véhicules d'échanger les informations nécessaires à savoir (position, vitesse, accélération, angle de braquage, etc.). Le progrès de l'industrie automobile a donné lieu à des misérables congestions de trafic causées par le nombre élevé des voitures. Par conséquent les collisions ne cessent de croître. Les enjeux des réseaux de véhicules sont multiples et concernent: l'introduction sur le marché, la qualité de service, le passage à l'échelle, l'interopérabilité, l'accès efficace au canal radio, le routage et la dissémination de messages, etc. Il y a énormément de verrous scientifiques, techniques et économiques à lever, mais la sécurité routière reste l'enjeu le plus complexe. L'insécurité routière a été longtemps considérée comme le premier problème à résoudre. Plusieurs défis doivent être cependant surmontés pour permettre l'implantation de la communication dans les systèmes de transport intelligents. Un autre problème réside dans le choix des informations qui convient à les transmettre et à quel moment il faut les transmettre. La communication vient d'améliorer la perception du véhicule face à son environnement, il faut choisir donc, le moment opportun, l'information la plus pertinente et la communication la plus appropriée pour prédire un risque à l'avance afin de prévenir un accident.

1.2. Motivations et Objectifs

La conception et le développement de nouveaux protocoles de communication est nécessaire pour les VANET. Ces systèmes et protocoles doivent être testés et évalués avant leur application ou implémentation dans le monde réel. La simulation dans les réseaux VANET est considérée comme le moyen idéal pour réaliser des tests dans des environnements réels avant la fabrication de prototype physique. L'objectif de commencer d'abord par la simulation est la prédiction de comportements anormaux et les défauts dans diverses situations et ensuite modifier la conception si nécessaire. Par le biais de **la simulation** nous pouvons **concevoir**, **analyser** et **évaluer** nos approches facilement et avec un coup raisonnable. La validité des résultats d'une simulation dépend fortement de la capacité du simulateur à reproduire les principales caractéristiques du réseau et à refléter le comportement des entités qui le composent. Parmi nos objectifs est de choisir les outils de simulations appropriés, nous allons

Chapitre 1 : Introduction Générale

approuver dans cette thèse que le choix des outils de simulation à un impact direct sur les résultats obtenus. Le développement **des systèmes de communication** qui estiment le risque d'une collision constitue le premier apport dans cette thèse. Mais comment définir les besoins des applications de sécurité pour les systèmes de détection et d'évitement de collision. Comme plusieurs voitures pouvant utiliser le canal en même temps, ces systèmes doivent alors avoir un temps de latence très bas et une bande de passante raisonnable, les systèmes d'évitement de collision nécessitent un temps de latence très petit, ce qui justifie que le choix d'une architecture réseau V2I n'est pas approprié. C'est pour cette raison que nous avons choisi la communication V2V pour notre système d'évitement de collision. Nous nous intéressons à proposer une nouvelle approche de communication et de prédiction pour l'évitement des collisions. Dans cette approche, chaque véhicule du réseau pourrait avoir une vue globale sur l'état futur de son réseau. L'estimation de l'état futur est réalisée à l'aide d'un système de prédiction. Ce système estime les paramètres d'un seul véhicule à savoir (position, vitesse, accélération, angle de braquage, etc.) ainsi que ceux de ses voisins. Un module de pronostique est intégré sur chaque véhicule, il est composé d'un générateur des risques et d'un décideur qui diffuse une décision, sous forme d'une alerte, à l'ensemble des véhicules du même réseau.

Les statistiques des accidents identifient que les intersections sont les plus critiques et les plus probables où les collisions se produisent généralement. Nous utilisons cette information pour déterminer les conditions typiques et les causes des accidents dans les intersections de la route, ce qui nous a motivés à appliquer l'approche d'évitement de collision proposée notée (*FCAA*) sur des scénarios d'intersection réel avec l'utilisation de la communication V2V entre les véhicules. L'objectif est d'améliorer la sécurité routière par la réduction du nombre d'accidents aux intersections de la route.

1.3. Organisation de la thèse

En plus du chapitre comportant l'introduction générale, la thèse se compose des chapitres suivants :

Le premier chapitre présente les systèmes de transport intelligent (STI). Nous introduisons le concept de base des STI en général, puis nous décrivons le contexte, les services et les domaines d'applications de ces systèmes. Par la suite, nous présentons les architectures, les normes ainsi que le fonctionnement des applications de STI. La partie de la sécurité routière et une étude de cas d'une application STI est abordée et présentée à la fin de ce chapitre.

Le deuxième chapitre présente un état de l'art sur les réseaux véhiculaires et les travaux de recherches antérieures. Le chapitre dans une première partie présente les notions de bases des réseaux de véhicules (les propriétés, les caractéristiques, les services, les applications, et les architectures de ses réseaux). Nous présentons les technologies de communication utilisées dans un réseau VANET et pour clôturer cette première partie nous abordons les activités de standardisation sur les communications véhiculaires. La seconde partie du chapitre est consacrée à la présentation des projets et les travaux de recherches effectués dans le domaine des réseaux véhiculaires.

Le troisième chapitre porte sur la modélisation et la simulation des réseaux VANET, les approches de modélisation de trafic routier et le processus de simulation dans les VANET sont abordés au début de ce chapitre ; puis nous présentons une vue d'ensemble des simulateurs utilisés pour un réseau VANET. Nous concluons par un cas d'étude: simulation d'un scénario réel extrait de la ville d'Annaba à l'aide des trois simulateurs MOVE, SUMO et Ns2.

Le chapitre quatre est consacré à la conception et la modélisation de notre solution proposée (l'approche de prédiction FCCA). En fait, après la modélisation cinématique des différents types de véhicules, ainsi que la présentation des différentes méthodes d'estimation de la trajectoire d'un véhicule, une simulation du modèle de type véhicule est validée. Si ce domaine a été et est encore très actif, peu de protocoles de

Chapitre 1 : Introduction Générale

communication ont été spécifiquement conçus pour les réseaux de véhicules. Afin de répondre aux spécificités des réseaux de véhicules, des mécanismes et des protocoles spécifiques doivent donc être utilisés. Ce chapitre décrit notre nouvelle approche de communication, d'estimation et de prédiction. Dans la suite de ce chapitre, nous décrivons l'architecture du module pronostic proposée sur un réseau de communication VANET. Par la suite nous présentons de manière détaillée l'approche de prédiction et d'évitement de collision FCCA.

Dans le dernier chapitre, nous allons évaluer en premier lieu notre approche analytiquement par une simulation d'un scénario sans et avec l'application de l'approche FCCA, pour procéder par la suite à la validation de notre approche FCCA par le simulateur SCANeR studio, les résultats des deux simulations, réalisées avec différents scénarios réels à l'aide de l'outil de simulation SCANeR studio. L'objectif de ces simulations consiste à étudier et tester réellement l'effet de l'approche FCCA dans l'évitement des collisions, une analyse comparative est présentée à la fin de ce chapitre.

Enfin, nous concluons ce manuscrit par une conclusion générale qui synthétise l'ensemble de nos contributions et suggère quelques perspectives que nous avons tracées pour la poursuite de nos travaux de recherches.

Chapitre 2

Les Systèmes de Transport
Intelligents et la sécurité
routière

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.1. Introduction

Les réseaux sans fil font depuis des années une partie intégrante de la vie quotidienne de la majorité des entreprises et d'autres organisations de recherches. De très nombreuses initiatives ont été prises par les gouvernements, les communautés et les constructeurs automobiles pour améliorer la sécurité routière et résoudre les problèmes de trafic routier. Le développement des technologies de l'information et de communication sans fil (TIC) suivi par l'apparition de la télématique embarquée dans les transports ont donné lieu à la naissance de «Transports Intelligents-TI». En effet, l'émergence des technologies de communication et de localisations sans fils (3G, GPS, le Wi-Fi.), ainsi les travaux d'étude avancés sur ces systèmes de communications et leurs applications dans les réseaux dynamiques ont fait apparaître le concept de ce qu'on appelle les systèmes de transport intelligents, que l'on abrège habituellement en « STI ». Nos voitures et nos routes deviennent plus sûres avec ces applications de transport intelligents (les informations sur le trafic, les accidents, les dangers, les déviations possibles, les informations météorologiques, les embouteillages, etc.). En dotant les véhicules mais également les infrastructures routières et urbaines de moyens de communication, les nouveaux réseaux ainsi créés pourraient alors permettre le déploiement de nombreuses applications et de divers services de ses systèmes « STI », dont le but est d'améliorer la sécurité, l'efficacité et la convivialité dans les transports routiers au travers de l'utilisation des nouvelles technologies d'information et de communication (NTIC). Le présent chapitre présente un aperçu sur les systèmes de transport intelligent, nous nous intéressons à détailler le contexte, le principe de fonctionnement et les services d'applications des STI, soit des services associés aux systèmes de transport intelligents comme les services dits de la sécurité routière, soit des systèmes de surveillance et d'alertes sur des dangers potentiels (conditions météorologiques, état de la route, état opérationnel d'un véhicule, etc.). Une étude sur les architectures et normes des systèmes de transport intelligent est présenté. Enfin un exemple d'application sur les systèmes de communication et d'information embarqués dans les véhicules est abordé.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.2. Contexte, services et les applications des STI

2.2.1. Origine et définitions

Une grande partie de la technologie moderne des STI a été initialement mise au point pour des applications routières tels que le contrôle des feux de signalisation en zone urbaine nous pouvons citer : SCOOT (Split, Cycle and Offset Optimization Technique) [Robertson et Hunt., 1982][Robertson et Bretherton., 1991] et SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) [Sims et al.,] [Lowrie., 1982]. D'autres initiatives ont été prises par les campagnes de sensibilisation et de prévention routière comme : les sanctions aux violations du code de la route qui deviennent de plus en plus sévères, (*exemple : des radars automatisés sont installés au bord de la route pour le contrôle de la vitesse excessive*), l'intégration des moyens de protection à bord des véhicules et l'amélioration des infrastructures routières. Une autre solution parue dès le début des années 1990 est celle des Systèmes de Transport Intelligents (STI) (ou ITS pour Intelligent Transportation Systems). Le terme « STI » peut être interprété au sens large ou au sens étroit. L'expression « télématique des transports » désigne en Europe l'ensemble des technologies qui soutiennent les STI. Les STI englobent tous les modes de transport et tiennent compte de toutes les composantes du système de transport – le véhicule, l'infrastructure, et le conducteur ou l'utilisateur. [Ait-Ali., 2013].

Ces systèmes consistent en l'intégration des technologies de l'information et de la communication aux infrastructures de transport et aux véhicules permettant d'améliorer l'efficacité des systèmes de transport, la sécurité et le confort des usagers. Les applications de STI sont basées sur la collecte, le traitement et la diffusion de l'information et elles offrent divers services qui vont des applications basiques telles que la gestion des feux de signalisation, les panneaux à messages dynamiques, à des applications plus élaborées comme le paiement électronique, la gestion du trafic, la diffusion de l'information aux conducteurs et la gestion des urgences [Ait-Ali., 2013].

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.2.2. Contexte et services des STI

Les systèmes de transport intelligents est une expression générique utilisée pour décrire l'application intégrée des technologies de communication, de contrôle, et de traitement de l'information au système de transport. Nous trouvons les STI dans plusieurs champs d'activités : dans l'optimisation de l'utilisation des infrastructures de transport, dans l'amélioration de la sécurité (notamment de la sécurité routière) et dans le développement des systèmes de contrôle et de surveillance, ex. services d'information sur l'état du trafic et les sociétés de services de navigation. Les avantages offerts par ces systèmes permettent de sauver des vies, de gagner du temps, d'économiser de l'argent et de l'énergie, et de protéger l'environnement. L'utilisation des STI s'intègre aussi dans un contexte de développement durable : ces nouveaux systèmes concourent à la maîtrise de la mobilité en favorisant entre autres le report de la voiture vers des modes plus respectueux de l'environnement. Ils font l'objet d'une compétition économique serrée au niveau mondial [Faye et al., 2011].

Les STI englobent tous les modes de transport et tiennent compte de toutes les composantes du système de transport : le véhicule, l'infrastructure, et le conducteur ou l'utilisateur, qui interagissent d'une façon dynamique. L'activité principale des STI est d'améliorer en temps réel la prise de décisions, en collaborations avec des exploitants du réseau de transport et les autres utilisateurs. La définition comprend un vaste éventail d'approches et de techniques qui peuvent être mises en pratique au moyen d'applications technologiques autonomes ou sous forme d'améliorations apportées à d'autres stratégies de transport. L'information est au cœur des STI, qu'il s'agisse de données statiques ou en temps réel sur la circulation ou de cartographie numérique. Un grand nombre d'outils des STI sont fondés sur la collecte, le traitement, l'intégration et la diffusion d'information. Les données provenant des STI peuvent fournir de l'information en temps réel sur l'état actuel d'un réseau ou pour la planification des déplacements, ce qui permet aux administrations routières et aux organismes s'occupant des routes ainsi qu'aux exploitants routiers, aux fournisseurs de services de transport en commun et de transport commercial et aux voyageurs individuels d'utiliser les réseaux d'une manière plus

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

éclairée, plus sécuritaire, mieux coordonnée et plus « intelligente » ou « ingénieuse » [Manuel1., 2013].

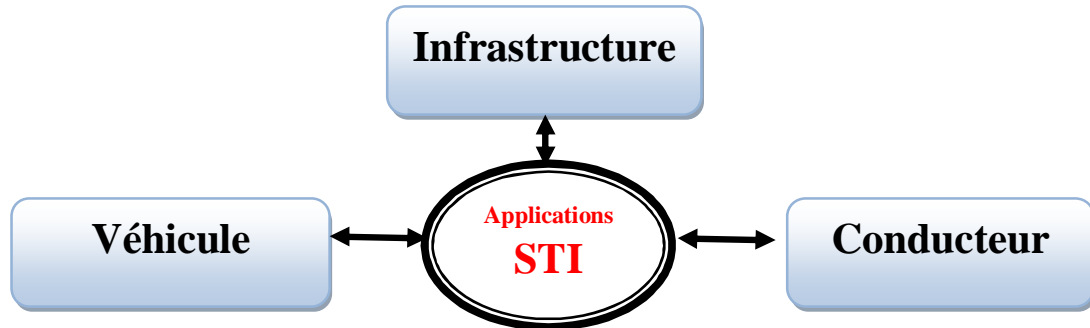


Figure 2.1 Les composantes d'un système de transport intelligent

Parmi les services pertinents de STI, mentionnons les suivants :

- Adaptation intelligente de la vitesse.
- Assistance aux usagers vulnérables de la route.
- Surveillance des conditions météorologiques et de l'état des routes et diffusion des informations relatives à ces conditions.
- Systèmes de détection d'incidents et systèmes d'alerte de collision.
- Priorité des véhicules d'urgence.
- Systèmes de surveillance des conducteurs.
- Contrôle du respect des limites de vitesse et des feux de circulation.
- Surveillance des transports de matières dangereuses.
- Systèmes d'amélioration de la vision pour les conducteurs.

2.2.3. Domaines d'applications et utilisation des STI

Nous présentons dans ce qui suit les utilisations les plus récentes des applications des STI dans le domaine de la sécurité routière et de transports :

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

Améliorer la sûreté et la sécurité [Dobias& Baret, 2005]

La sécurité routière concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route ou à atténuer ses conséquences. Les STI peuvent contribuer directement ou indirectement à la sécurité routière, rendre le transport plus sûr et plus sécuritaire, développer les systèmes de surveillance et d'alerte "bord de voie" qui permettent d'alerter les usagers de la route d'une difficulté de conduite, maximiser sa capacité à contrôler et à réduire les impacts des désastres, tant naturels que d'origine humaine, p. ex., certaines applications de planification contribuent à la réduction des délais d'intervention des services d'urgence, et à la création d'itinéraires d'évacuation en cas de désastre et à l'établissement de la priorité d'accès à ceux-ci. Ils peuvent favoriser une réduction durable du nombre d'accidents et de leurs gravités en signalant les conditions et les situations dangereuses aux voyageurs, en intervenant dans la tâche de conduite. D'autres dispositifs permettent de protéger directement les usagers (protection des usagers).

Alléger la congestion [Manuell., 2013]

La congestion constitue un problème majeur pour tous les réseaux de transport, et l'augmentation de l'efficacité des systèmes de transport existants est l'un des principaux objectifs des programmes de STI partout dans le monde. Les stratégies pour réduire la congestion sont : Mettre en place des systèmes de surveillances, de contrôles, dotant les réseaux d'instruments qui permettront d'améliorer leur exploitation en temps réel, en gérant la demande par la diffusion d'information juste à temps, et en encourageant la mobilité hors des heures de pointe ou l'utilisation d'autres modes de transport. Parmi les services de STI pertinents, mentionnons les suivants :

- Outils de gestion du trafic permettant d'assurer l'efficacité maximale du réseau routier, notamment (surveillance des conditions de trafic actuelles et prévision coordination des feux de circulation, réactive aux condition de circulation, détection et gestion des incidents survenant sur le réseau routier; vidéos surveillance des points chauds de congestion.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

- Systèmes de paiement électronique, de contrôle d'accès et de contrôle du respect de la réglementation, notamment : tarification des routes, y compris le péage électronique et le péage de congestion ; reconnaissance des véhicules et systèmes de limite de vitesse.

Avantages sur les plans de la sécurité et de l'environnement [Manuell., 2013]

- Surveillance et gestion de la qualité de l'air, notamment : (détection et prévision de la pollution ; mise en œuvre de stratégies visant à atténuer les problèmes de qualité de l'air).
- Systèmes de sécurité, notamment : (régulateur adaptatif de vitesse; détection et prévention des collisions ; systèmes de sécurité des véhicules; systèmes coopératifs véhicule-infrastructure).

2.3. Fonctionnement des systèmes de transport intelligents

La réussite d'une application des STI est liée à l'intégration de toutes les composantes des STI (interfaces d'échange de données, liens de communication et des différentes plates-formes) qui nécessite d'être ensemble comme un seul système intégré. Grâce à une planification rigoureuse, de bonnes communications et une coordination efficace des intérêts des partenaires intervenant que l'impact des STI se fera pleinement sentir.

À l'heure actuelle, un grand nombre des STI qui sont déployés sont des applications autonomes car il est souvent plus rentable à court terme de déployer une application individuelle sans se soucier de déployer les applications compliquées qui nécessitent le déploiement de tout le système intégré [Manuell., 2013].

2.3.1. Technologies

Les STI se fondent sur trois technologies en pleine expansion [Jacobs., 2006] :

- *les technologies de l'information* : ces technologies se reposent sur les systèmes de traitement automatisé de bases de données.

- *les technologies de la communication* : elles regroupent les solutions de télécommunications qui permettent de collecter l'information, de la transmettre et de la

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

diffuser à distance, soit par les émissions des radios FM, soit par ondes courtes ou infrarouge; plus récemment sont apparues de nouvelles technologies, telles que les communications dédiées à courte portée (DSRC) hyperfréquences ou infrarouge – utilisées pour le péage électronique (EFC), le WiFi et surtout la téléphonie mobile, dont la quatrième génération commence à se développer, ainsi que les communications par hyperfréquence.

- *les technologies de positionnement* : ces technologies consistent à localiser un véhicule, une personne ou un objet en mouvement. Elles comprennent le positionnement satellitaire, associé éventuellement à d'autres capteurs ou balises, et le positionnement cellulaire effectué par les réseaux de téléphonie mobile comme le tableau ci-dessous montre (Tableau 2.1) :

Tableau 2.1. Technologies habilitantes des STI [*Manuell., 2013*]

Technologies habilitantes des STI	Volet de l'infrastructure	Volet des Véhicules
Géoréférencage	<ul style="list-style-type: none">• Cartographie numérique• Système d'information géographique (SIG)• Base de données sur le transport	<ul style="list-style-type: none">• Localisation par téléphone cellulaires• Systèmes de positionnement global par satellite (GNSS)• Localisation automatique des véhicules
Acquisition de données	<ul style="list-style-type: none">• Détecteurs de circulation• Surveillance météorologie• Détection automatique des incidents (DAI)	<ul style="list-style-type: none">• Identification automatiques des véhicules (AVI)• Capteurs de véhicules

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

Traitement de données	<ul style="list-style-type: none">• Dictionnaires de données• Fusion des données• Echange de données	<ul style="list-style-type: none">• Ordinateurs embarqués• Recalage cartographiques
Communications	<ul style="list-style-type: none">• Liens micro-ondes fixes• Réseaux à fibre optique• Balise DSRC• Réseaux de téléphone cellulaires	<ul style="list-style-type: none">• Récepteurs DAB• Récepteurs de téléphone cellulaires• Radio d'avis routière (HAR)• Récepteurs RDS/TMS• Transpondeurs
Diffusion de l'information	<ul style="list-style-type: none">• Panneaux à message dynamique (PMD)• Internet kiosque	<ul style="list-style-type: none">• Guidage routier (GR)• Systèmes évolués d'aides aux conducteurs (SEAC)

2.3.2. Principe de fonctionnement

Les STI comprennent un vaste éventail de fonctions de soutien aux utilisateurs, allant de simples alertes d'information jusqu'aux systèmes de contrôle hautement perfectionnés. Essentiellement, ces services de STI peuvent être considérés comme une chaîne d'information, tel que montré à la Figure 2.2. Cette séquences de tâches comprend l'acquisition de données (issues du système de transport), les communications, le traitement de données, la diffusion de l'information, et l'utilisation de l'information (à des fins de soutien aux utilisateurs des STI en matière de décision et de contrôle).

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

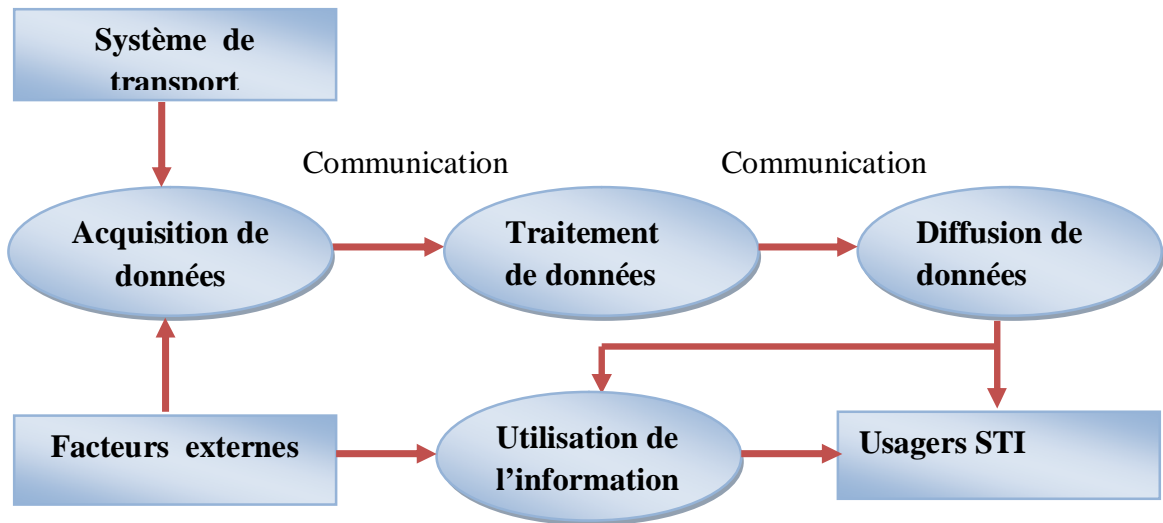


Figure 2.2. La chaîne d'information des STI [Rupprecht et al., 2003]

Les facteurs externes font aussi partie de la chaîne d'information comme exemple : les prévisions météorologiques. Le concept de cette chaîne n'est pas nouveau pour les personnes qui gèrent des systèmes de circulation complets. Toutefois, ce qui est relativement nouveau en ce qui concerne les STI, ce sont les moyens qui sont appropriés pour une telle application STI, en d'autres termes, les technologies et les concepts de système qui sont utilisés dans les buts suivants [Manuel2., 2013]:

- l'échange d'information et la coordination des décisions auxquels participent de nombreux centres (exemple l'échange d'informations entre les centres de gestion du trafic et de gestion du transport en commun)
- l'acquisition d'information et l'intégration de cette information entre le véhicule et l'infrastructure routière (en vue de certaines fonctions, dont le guidage routier dynamique) ;
- l'échange d'information avec de nouveaux organismes du secteur privé (p. ex., afin que les fournisseurs de services d'information diffusent des renseignements sur la circulation au moyen de téléphones cellulaires ou sur Internet).

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.3.2.1. Acquisition des données

- *Sources de données routières*

Le secret de réussite d'une application STI dépend de la première étape qui concerne le bon moment et le degré d'acquisition des informations fiables. Un des éléments indispensables à plusieurs services des STI est la collecte en temps opportun de données exactes et fiables sur le débit de la circulation et l'état des routes. Les types de données sur la circulation sont classés en trois catégories : données ponctuelles sur le flux de circulation (exemple : vitesse moyenne), données sur les véhicules individuels (comme : type de véhicule), et données relatives à la circulation sur les liens (p. ex., temps de parcours moyen) [Manuel2., 2013].

- *Sources de données sur les véhicules*

Le besoin de service de localisation et d'identification des véhicules au sein des applications des STI est très importante, non seulement pour le conducteur qui demande de se situer à des fins de navigation ou pour recevoir des renseignements sur le lieu où il se trouve, mais aussi pour l'exploitant de parc de véhicules qui souhaite effectuer le suivi des véhicules afin d'assurer la gestion du trafic de véhicules. Le service de localisation des véhicules est donc précieux pour les organismes publics lorsqu'il s'agit d'une localisation un véhicule en situation de difficulté, à des fins de secours ou problème d'arrestation. L'identification automatique des véhicules comprend l'utilisation de l'équipement installé sur l'infrastructure. L'utilisation des capteurs de véhicules basés sur l'AVI nécessitent l'installation d'équipement approprié sur l'infrastructure (il peut s'agir de balises installées en bordure de la route qui décèlent les véhicules dotés d'un badge ou d'un transpondeur qui peuvent être reconnus, ou de lecteurs de plaques d'immatriculation dotés de caméra, qui font appel à des techniques de traitement d'images). La localisation automatique des véhicules (AVL) est basée sur des systèmes de navigation globale par satellite (GNSS). Les deux méthodes AVI et AVL sont les plus utilisées dans la récolte des sources d'informations sur les véhicules [Dobias& Baret, 2005].

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

- *Sources de données sur le réseau de transport*

Le plus intéressant au monde public en plus des données relatives à la circulation et aux véhicules, c'est les données sur les réseaux de transport mêmes. En raison que ces applications nécessitent des bases de données détaillées et fiables sur les liens, les nœuds et d'autres caractéristiques des réseaux, alors des budgets considérables doivent être investies dans les données sur les réseaux de transport. Ce service est basé sur un système de géo-référencement solide qui contient les références détaillées à des cartes et plans, à des photographies aériennes et relevés sur le terrain. L'enregistrement vidéo du réseau effectué à partir d'un véhicule, est souvent utilisé, afin de réduire le temps requis sur le terrain [Manuel2., 2013].

2.3.2.2. Obtention des informations : Traitement de données

- *Information sur la circulation et les voyages*

Il existe plusieurs sources pour accueillir des données, mais pour obtenir des informations fiables et exactes, il nous faut un traitement et un filtrage sur les données rassemblées. Exemple l'information sur la circulation peut être obtenue de nombreuses façons et à partir de nombreuses sources simultanément (le centre de gestion des transports en commun, l'organisme responsable de l'entretien du réseau routier, le service de police, etc). Par conséquent, au centre de gestion du trafic ou de gestion du transport, il faut traiter ces données, en commençant d'abord à vérifier l'exactitude, corriger les renseignements contradictoires, organiser les données dans des formats compatibles, et les combiner aux données provenant d'autres organismes. Ce processus est connu sous le nom de « fusion de données » [Manuel2., 2013]. Parmi les applications importantes de traitement de données consiste à fournir aux utilisateurs des renseignements courants sur la circulation et/ou des données sur les temps de parcours prévus (PIT), cette information peut être diffusée non seulement sur des panneaux à messages dynamiques (PMD) mais aussi par le biais des médias, de dispositifs embarqués comme le Trafficmaster.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

- *Détection automatique des incidents*

La détection automatique des incidents (AID) est une autre approche qui fait le traitement de données à base des algorithmes évolués. Cette méthode de détection est liée à l'infrastructure, elle consiste à effectuer un traitement informatique appliqué aux données de circulation recueillies au moyen de divers détecteur. Pour déterminer la présence d'un incident, les données d'entrée provenant du système de détection sont vérifiées à l'aide d'un algorithme. Les algorithmes qui ont été mis au point comprennent un certain nombre de méthodologies. La confirmation de la fin d'un incident est aussi importante que la détection précoce. Il est essentiel d'indiquer de façon fiable le début et la fin d'un incident afin d'éviter que les conducteurs ne reçoivent de fausses alertes qui mineraient leur confiance à l'égard des systèmes liés aux STI [Manuel2., 2013].

2.3.2.3. Communications et échange de données

Le choix d'un moyen de communication adéquat dans une application de STI à une relation décrite à la réussite de cette application, en d'autre terme la méthode de communication utilisée est en fonction des applications particulières des STI. L'industrie des télécommunications a mis au point plusieurs technologies évoluées, et les spécialistes des STI tirent rapidement profit de ces développements pour établir des réseaux à haute vitesse, à faible temps d'attente, à multiplexage et commutés. En général, le coût d'installation des moyens de communication de données sur les STI augmentent en fonction de la quantité de largeur de bande, ce qui détermine le volume de données qu'il est possible de transmettre simultanément (paquets, image, vidéo .etc..) [Manuel2., 2013].

- *Communications fondées sur l'infrastructure*

Il est nécessaire d'avoir recours à la communication de données, à la fois la collecte de données et la diffusion de l'information. En terme d'infrastructure, l'équipement de communication fixe est le plus fréquemment utilisé, comme les câbles de cuivre ou à fibres optiques. Les données acquises au moyen de sources fixes, comme les détecteurs

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

au niveau du sol et la caméra en circuit fermé (CCTV), sont transmises à des centres des opérations (qui les retransmettent par la suite) au moyen d'une combinaison de communications fixes et de communications sans fil, selon les conditions propres au site. Au niveau des véhicules, les communications sans fil sont de mise. Par conséquent, l'information provenant de sources mobiles, comme les patrouilles aériennes, et l'information provenant des équipements embarqués de traitement de données, telles que les coordonnées établies au moyen du GNSS, doivent être transmises aux centres d'exploitation, au moyen de communications sans fil. Comme exemple nous citons la technologie de communication sans fil à courte portée DSRC (Dedicated Short-Range Communications) que nous allons détailler dans le suivant chapitre [Belarbi., 2004].

- *Communications mobiles*

Quant aux véhicules, les communications sans fil jouent un rôle essentiel dans diverses fonctions des STI. Par exemple, les incidents de circulation sont signalés directement au moyen de téléphones cellulaires par les conducteurs circulant sur les routes. Jusqu'à récemment, les téléphones de voiture étaient des appareils analogiques (une caractéristique des communications de première génération, 1G) qui ne permettaient pas de communiquer des données. Les terminaux numériques mobiles (MDT) sont utilisés depuis plusieurs années à bord des voitures de police, de camions et d'autres véhicules spéciaux pour la communication de données. De nos jours, les téléphones cellulaires et les autres systèmes de communication personnelle (PCS – p. ex., les téléavertisseurs) [Belarbi., 2004].

- *Diffusion de données*

Les renseignements concernant la circulation et d'autres informations connexes (état de la route, places de stationnement disponibles, parcs relais, etc.) peuvent être diffusés par les pouvoirs publics afin d'améliorer la qualité de l'environnement, l'efficacité, et la sûreté des transports ou par des fournisseurs de services du secteur privé qui perçoivent des recettes issues de la publicité et/ou de frais imposés aux utilisateurs finaux [Manuel2., 2013]. Les équipements fixes et les terminaux mobiles sont les deux

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

principaux modes de diffusion de l'information sur la circulation et d'autres renseignements pertinents. Les équipements fixes, qui sont utilisés en relation avec l'infrastructure, comprennent les téléphones conventionnels, les récepteurs radio classiques, les téléviseurs, les ordinateurs de bureau, les télécopieurs, les kiosques d'information, et les panneaux à messages dynamiques [Belarbi., 2004].

2.3.2.4. Utilisation de l'information

Dans les STI, l'étape « utilisation d'information » consiste à informer l'utilisateur afin qu'il puisse prendre des décisions appropriées et exactes, cette tâche permet aussi à appuyer la régulation du trafic à coté de l'infrastructure, aider le conducteur ainsi que les véhicules afin d'assurer un fonctionnement coopératif entres les trois entités (conducteurs, véhicules et infrastructure).

2.4. L'architecture et normes des STI

Les premières applications de STI étaient souvent conçues pour fournir juste un ou deux services maximum et qui fonctionnent indépendamment les uns des autres. Par contre dernièrement, les applications deviennent plus complexes, non seulement par la diversité des services qu'elles offrent mais aussi par les risques que certains sous-systèmes entrent en conflit les uns avec les autres. Pour ces raisons, il est toutefois possible que ces sous-systèmes fonctionnent en synergie, une fois fusionnés et les intégrer de manière à former un système complet. Chaque application d'un STI doit avoir comme une étape initiale une architecture de ce système complet, cette architecture fournit un cadre logique requis, en fonction des exigences des utilisateurs quant à leur planification, définition, et intégration des systèmes de transport intelligents. L'établissement et l'utilisation de l'architecture des STI ajoutent une valeur considérable au processus global d'élaboration des STI de diverses façons :

Gestion des risques : Une bonne conception d'une architecture de STI tiendra compte des modes de défaillance et devrait prévoir toutes mesures logiques visant à assurer le fonctionnement en mode dégradé des systèmes en cas de circonstances anormales.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

L'élaboration d'une architecture des STI exige en outre de préciser, de façon explicite, les politiques de transport ainsi que des hypothèses quant aux divers rôles à remplir.

Etablir une base pour le développement : Au niveau de ce stade, un document décrivant le fonctionnement théorique des opérations doit être établie, une base rigoureuse et détaillée pour définir la fonction de modules de traitement de données particuliers, préciser l'endroit où le traitement devrait avoir lieu et les données qu'il faut acquérir et qui doivent être partagées entre les unités de traitement de données. Par conséquent, l'architecture fournit une plateforme de premier choix à partir de laquelle le développement de systèmes (et de logiciels) pourra être entrepris [Manuel3., 2013] .

Services aux utilisateurs, exigences fonctionnelles et conception des traitements

La première étape lors de la conception d'une architecture des STI consiste à sélectionner les besoins des utilisateurs et fixer l'ordre de priorité. Tous les principaux intervenants et acteurs devraient participer à ce processus, et profiter de l'élaboration de l'architecture pour établir un consensus, ce qui est très important pour assurer la réussite du déploiement et d'exploitation des STI. [Manuel3., 2013] .

2.4.1. L'architecture logique

Cette architecture présente les processus et les flux de données entre les processus qui sont nécessaires pour satisfaire toutes les exigences fonctionnelles de l'application STI. Dans l'élaboration d'une architecture logique, il faut examiner les points communs entre les diverses exigences des utilisateurs et les services de STI, afin de regrouper au sein du même ensemble de processus les fonctions partagées et les exigences communes.

Dans la Figure 2.3, l'architecture logique simplifiée, de haut niveau, mise au point pour les États-Unis, est présentée sous forme de diagramme de flux de données. Les flèches indiquent la direction des flux des données requis, pour exécuter tous les services sélectionnés par la collectivité nationale des STI. Les cercles représentent des ensembles de processus qui sont ventilés de façon plus détaillée aux niveaux inférieurs subséquents de l'architecture logique. Aux niveaux les plus bas, les cercles précisent le traitement

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

nécessaire des données; par exemple, un algorithme pour la détection automatique des incidents [Manuel3., 2013].

L'objectif primordial de l'architecture logique est de décrire comment le système gère les circonstances anormales. Il faut tenir compte de tous les modes de défaillance, pour identifier les risques qu'ils peuvent présenter pour la sécurité, et il doit décrire les étapes logiques nécessaires pour assurer le fonctionnement d'une sécurité intégrée dans des conditions anormales.

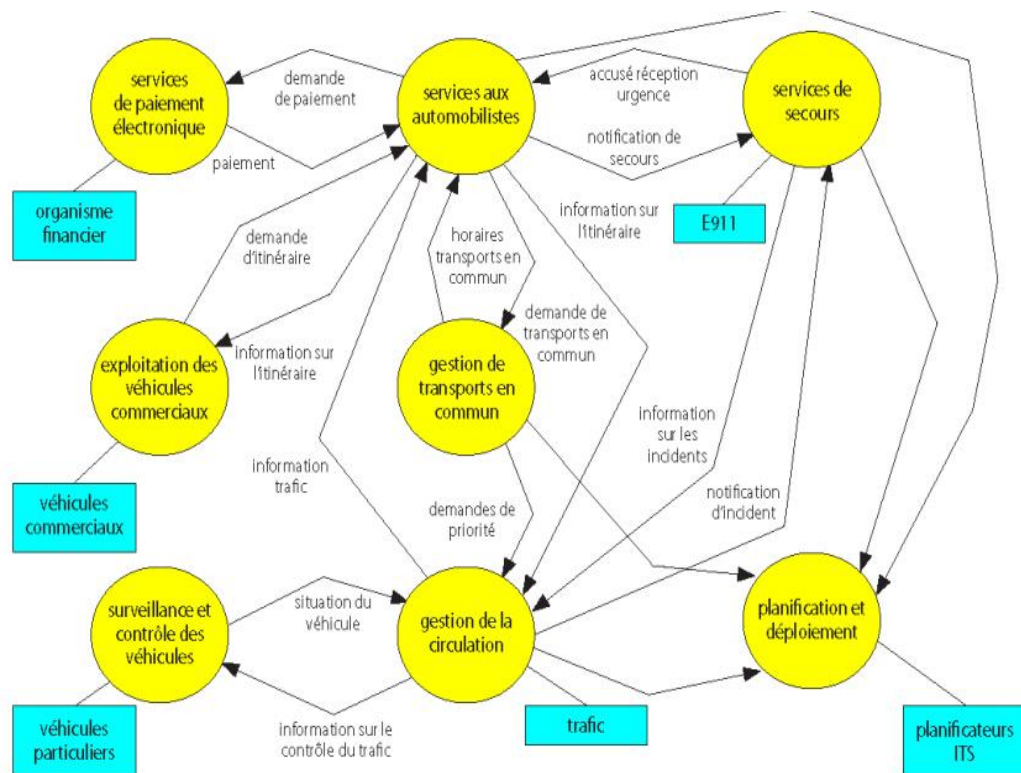


Figure 2.3. Architecture logique pour les États-Unis [Manuel3., 2013]

2.4.2. L'architecture physique

Dans le contexte de la conception des systèmes, l'architecture physique fournit les processus déterminés par l'architecture logique à des sous-systèmes physiques, que l'équipement et les logiciels permettront de fournir. La conception des systèmes physiques est fondée sur les exigences fonctionnelles, les spécifications de processus, et

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

les interdépendances, et sera conditionnée par le fait que les fonctions devront être exécutées en un seul ou plusieurs lieux. Par conséquent, l'architecture physique attribue des processus particuliers aux sous-systèmes physiques, en tenant compte des responsabilités institutionnelles [Manuel3., 2013] .

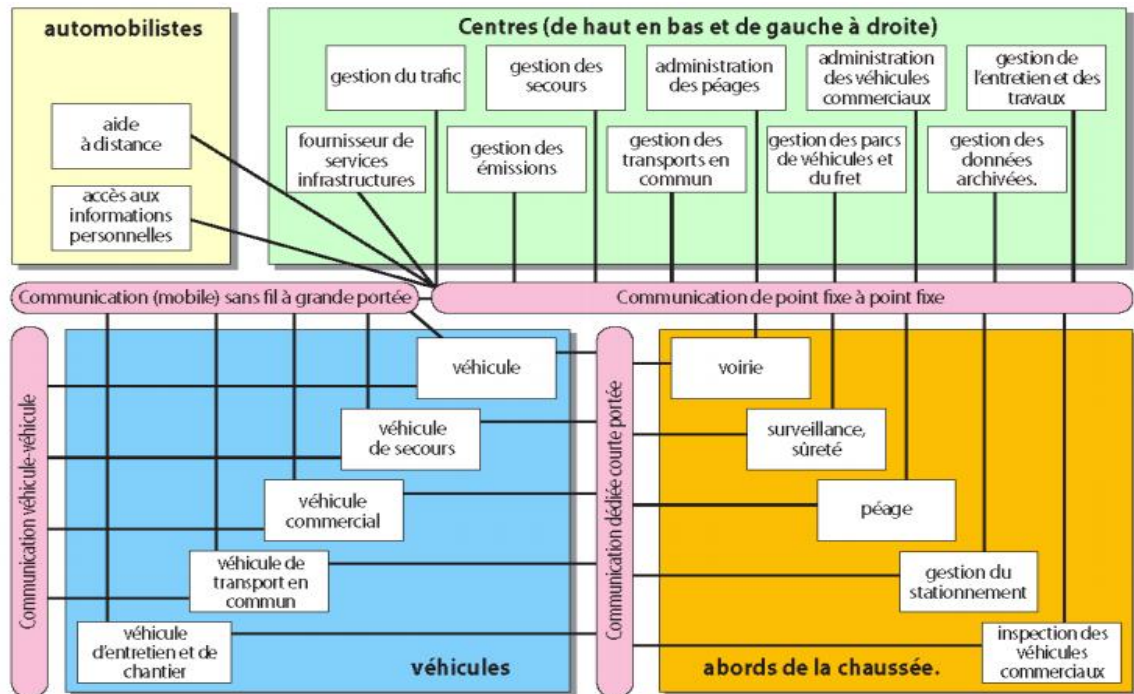


Figure 2.4. Architecture logique pour les États-Unis [Manuel3., 2013]

Pendant l'élaboration d'une architecture des STI, les organismes doivent prendre des décisions au sujet de la forme d'architecture qu'ils créent. Il peut s'agir de l'un des trois types de formes suivantes :

- une architecture-cadre, c'est à dire une architecture fondée sur les besoins des utilisateurs et un point de vue fonctionnel. Elle peut être utilisée pour créer des architectures des deux types qui suivent et elle convient en fait uniquement aux architectures de niveau national.
- une architecture obligatoire, qui est fondée sur les points de vue physique, les communications et d'autres points de vue. Elle peut être utilisée aux niveaux national,

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

régional et local pour préciser les exigences relatives aux déploiements des STI. Le contenu du point de vue physique peut être fixe, mais il peut exister un éventail restreint d'options.

- une architecture de service, qui est semblable à l'architecture obligatoire, mais qui soutient uniquement un service particulier, par exemple l'information aux voyageurs, la gestion du transport en commun, etc.

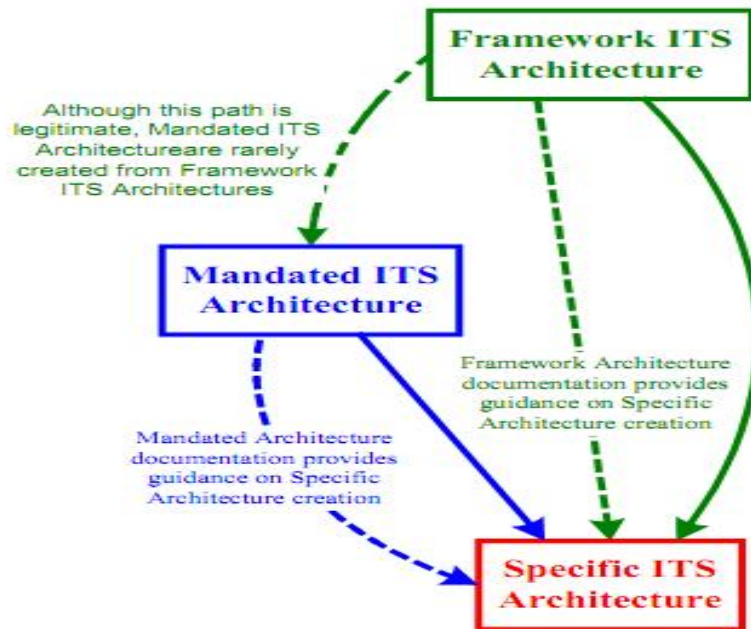


Figure 2.5 Relations entre les types d'architecture [Manuel3., 2013]

2.4.3. Normes des STI

Il existe différentes taxonomies de normes de STI. Premièrement, des normes sont requises relativement aux protocoles ainsi que les ensembles de messages, pour assurer la fluidité du flux de données et de l'échange d'information entre les sous-systèmes. Les protocoles, comme le TCP/IP utilisé pour Internet, donnent les formules relatives à la transmission de messages, précisent les formats de message en détail, et décrivent la façon de gérer les conditions d'erreur. Des ensembles de messages standards, qui sont habituellement définis dans des dictionnaires de données, sont également nécessaires

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

pour assurer un échange acceptable d'information entre les sous-systèmes. Par exemple, pour l'échange d'information sur les incidents, il doit exister des normes en vue du codage d'un certain nombre d'éléments de message, pour assurer la description non ambiguë de l'emplacement (p. ex., numéro du tronçon de route) et du type d'incidents (p. ex., incendie, blessure corporelle, etc.) S'il est nécessaire d'avoir recours à la communication sans fil, la normalisation de la fréquence et de la technique de modulation est également implicitement entendue. Les STI peuvent faire appel aux normes existantes, en ce qui a trait aux couches inférieures de l'intégration des systèmes ouverts (OSI) et se concentrer sur la normalisation des contenus de données spécialisées des STI, au niveau de la couche de l'application (la couche la plus élevée de modèle OSI).

Deuxièmement, les normes de STI peuvent être établies aux niveaux local, régional, national, international et mondial. Il se peut que certaines normes soient nécessaires seulement jusqu'à un certain niveau. Par exemple, il se peut que l'exploitation de la plupart des véhicules commerciaux nécessite des normes internationales sur un continent donné (p. ex., en Europe ou en Amérique du Nord) mais ne nécessitent pas de normes mondiales, puisque les camions ne se déplacent pas d'un continent à l'autre. Par contre, les normes relatives à l'identification du fret devraient être de portée mondiale pour faciliter l'identification et les contrôles de sécurité des marchandises et le mouvement de celles-ci entre les continents.

Troisièmement, comme tous les autres types de normes, les normes de STI peuvent être des normes *de facto*, alors que tous respectent les normes établies par le fabricant dominant, ou des normes consensuelles, qui sont issues de procédures établies par des organismes de normalisation (qui sont majoritairement des sociétés professionnelles et des associations commerciales). Le gouvernement peut aussi établir des normes (sous forme de règlements), habituellement en dernier recours [Manuel3., 2013]

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.5. Etude de cas d'un système VICS en - Japon - [Etude de cas, 2013]

Description: Ce projet VICS (système d'information et de communication pour les véhicules) consiste d'informer en temps réel les conducteurs sur l'état de trafic. Cette information (sur les embouteillages, le code de la route, etc.) est éditée et traitée au centre VICS, puis transmise en temps réel au système de navigation du véhicule qui l'affiche sous forme de texte et de graphique. Le système VICS permet aux automobilistes de choisir l'itinéraire le plus court et le mieux adapté. Il assure la répartition optimale du trafic.

Objectifs : Fournir de l'information précise et opportune en temps réel pour remédier aux embouteillages, réduire les émissions des véhicules, freiner la détérioration de l'environnement et raccourcir les temps de déplacement. Permettre la navigation dans les villes, dont le réseau routier comporte souvent des routes étroites et sinueuses. Pallier au manque de parcs de stationnement. Rendre les routes plus sécuritaires et plus conviviales.

Défis techniques :

- Recueillir de l'information précise sur les embouteillages, les perturbations, la disponibilité du stationnement, etc.
- Traiter l'information : les données sont recueillies et intégrées automatiquement par 7 centres VICS nationaux.
- Transmettre l'information : l'information est transmise par trois médias : des radiobalises sur les autoroutes, des balises aux feux de signalisation sur la plupart des routes importantes et des diffusions multiplexes par les émissions radio FM.

Chaque radiobalise couvre une zone de 70 m et offre un débit de transmission de 64 kbits/s. Un seul paquet d'information contient 8 000 caractères, mis à jour toutes les 5 minutes. Les balises infrarouges aux feux de signalisation tiennent aussi lieu de capteurs de véhicules pour recueillir de l'information sur le trafic. Elles sont installées le long des principales routes dans la région urbaine et couvrent une zone de 3,5 m. Elles offrent un

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

débit de transmission de 1 Mbit/s. Un paquet d'information contient 10 000 caractères, mis à jour toutes les 5 minutes. Ce paquet peut être personnalisé à chaque emplacement pour donner des renseignements propres au secteur visé. Les diffusions multiplexes par FM donnent des renseignements généraux destinés à des zones plus vastes. Ces diffusions proviennent d'installations de radiodiffusion FM et couvrent un rayon de 10 à 50 km de l'antenne de transmission. Le débit de données se fait à 16 kbits/s, ce qui permet une diffusion en continu de 50 000 caractères, également mis à jour toutes les 5 minutes.

Défis non techniques : Coordonner et gérer les diverses organisations qui prennent part au projet du système VICS, dont le ministère de l'aménagement du territoire, des infrastructures et des transports, l'agence nationale de police, des entreprises privées et des universitaires. Un organisme officiel, regroupant le ministère de la gestion publique, des affaires intérieures, des postes et des télécommunications, a été créé pour s'occuper des négociations. Cet organisme est devenu le Comité des communications du système VICS en 1991. Il assumait la responsabilité d'examiner la faisabilité technologique et financière du système VICS. L'entente conclue prévoyait que le secteur public installe les balises et l'équipement de diffusion alors que le secteur privé mettait au point et vendait les dispositifs embarqués.

Évaluation : Le système VICS a la réputation d'être un des meilleurs systèmes d'information dynamique sur le trafic au monde. Les ventes colossales de dispositifs VICS attestent de sa popularité. Avec plus de 7 millions de dispositifs et 85 % des dispositifs de navigation des véhicules déjà équipés du système VICS, il s'agit virtuellement d'une norme au Japon. La véritable utilité et les avantages du système VICS sont toutefois difficiles à quantifier directement.

Des simulations menées au moyen de modèles démontrent que si 20 % des automobilistes qui empruntent l'autoroute métropolitaine utilisent le système, les embouteillages seront réduits de 10 %.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

Futur : Même si le système VICS reposait sur une technologie de pointe au moment de sa mise au point, les progrès rapides en Technologies de l'Information ont déjà provoqué l'obsolescence de certaines parties. Des plans visent à mettre le service à jour au moyen de DSRC bidirectionnelles à 5,8 GHz et permettre l'intégration d'autres services, comme le télépéage, et d'en accroître les avantages.

2.6. La sécurité routière et STI

La sécurité routière est un sujet transversal dans le domaine des transports, elle concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route ou à en atténuer les conséquences [Trans_Intel., 2014]. L'information routière a pour but d'améliorer la sécurité routière, en évitant les sur-accidents et en réduisant les situations à risques, de faciliter la gestion des situations exceptionnelles et des crises par les autorités, de réduire les coûts économiques et, par la fluidification du trafic ou par la proposition d'itinéraires alternatifs. Les STI peuvent contribuer directement ou indirectement à la sécurité routière. Les premières contributions reposaient sur des systèmes de sécurité passive qui sont des équipements permettant de sauver des vies et de limiter les dégâts occasionnés lors d'accidents (*voir la figure 2.6*). Toutefois, ils n'empêchent en aucun cas l'évitement des accidents, mais en réduisent les conséquences [Favier et al., 2004]. Ce sont *des systèmes embarqués d'aide à la conduite* avec une capacité de pallier les défaillances du conducteur et de l'aider dans sa tâche de conduite en l'informant ou en réalisant, à sa place, un certain nombre d'opérations visant à une gestion plus optimale du véhicule. D'autres dispositifs permettent de protéger directement les usagers (*protection des usagers*). Il existe également le *Contrôle Automatisé* qui participe à la sécurité routière en cherchant à faire respecter la réglementation. Par la suite nous constatons de plus en plus un passage vers ce qu'on appelle la sécurité active comme la figure ci-dessous le montre. i.e. développer des équipements qui minimisent ou évitent les accidents en offrant une meilleure visibilité de la situation, en avertissant le conducteur des dangers, en agissant directement sur les commandes du véhicule [Favier et al., 2004]. Ainsi se développent *les systèmes de surveillance et d'alerte* qui permettent d'alerter les usagers d'une difficulté de conduite.

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

Enfin, d'une autre façon, participe à la sécurité routière en cherchant à rendre la route intelligente i.e. interactive et communicante à la fois.

La route communicante : Pendant longtemps, les constructeurs se sont contentés d'équiper leurs véhicules de systèmes autonomes (la sécurité passive vers la sécurité active), mais la tendance est aujourd'hui à une approche intégrée et systémique, en liaison avec les autorités et les gestionnaires de trafic. En effet, en mariant les données issues de la cartographie (GPS) à celles détectées par les capteurs du véhicule (caméras, radars etc.) il devient possible de faire de cette interactivité une conduite coopérative. Les recherches actuelles conduisent à envisager la mise en place de systèmes de communication entre véhicules, mais aussi avec l'infrastructure elle-même, ce qui permettrait d'envisager des systèmes de détection d'incidents (embouteillages, verglas, travaux etc.) et d'avertissements à l'approche de situations dangereuses [Trans_Intel., 2014].

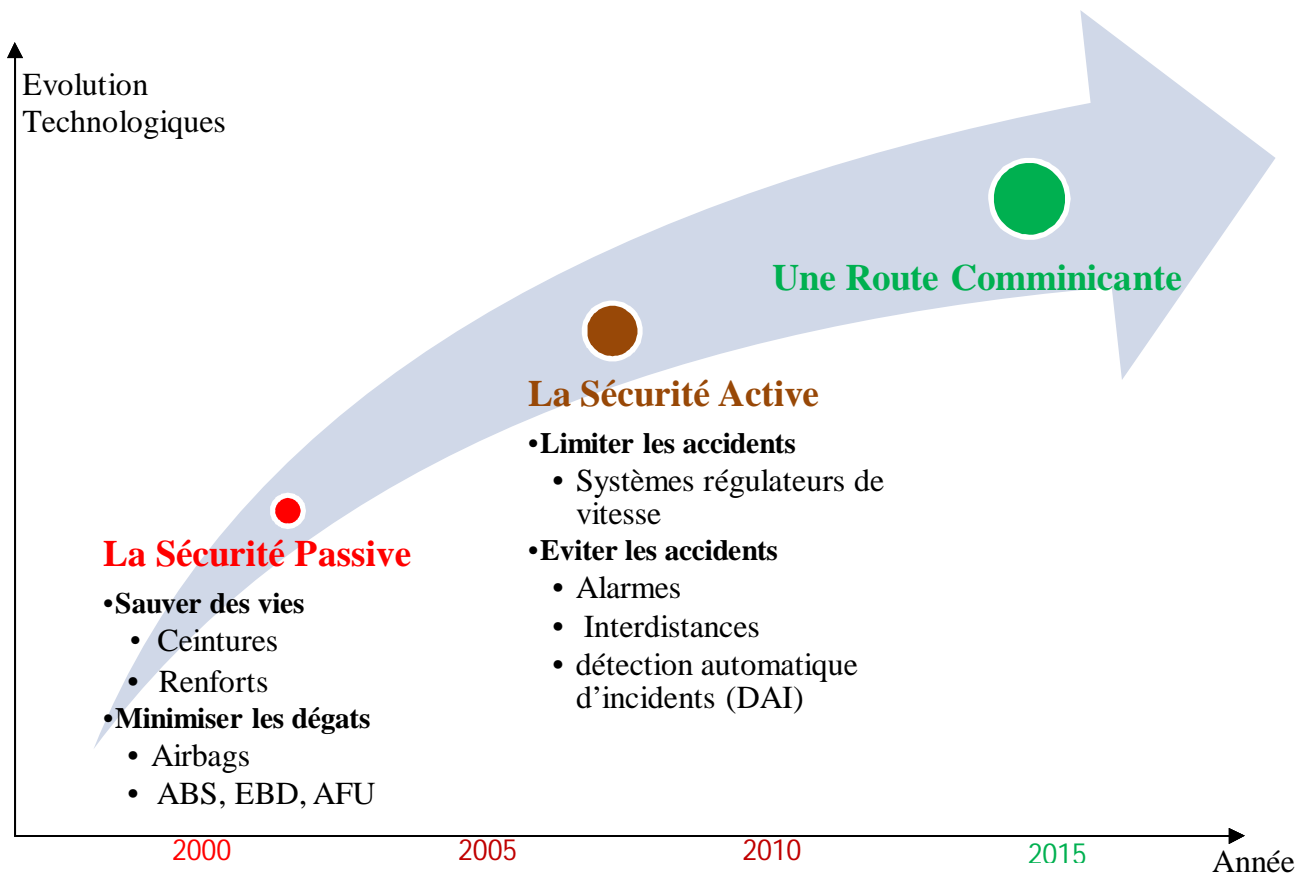


Figure 2.6 Vers une sécurité routière améliorée

Chapitre 2:

Les Systèmes de Transport Intelligents et la sécurité routière

2.7 Conclusion

Les systèmes de transport intelligents sont considérés comme un fruit de la révolution des technologies d'information et de communication qui marque l'ère numérique. Les STI constituent un élément important dans les réseaux véhiculaires. La transformation numérique des technologies de l'information et des communications a favorisé des percées importantes dans des domaines, tels que la navigation par satellite, les systèmes embarqués, les réseaux véhiculaires et les cartes intelligentes. Les applications de l'ensemble de ces technologies numériques au transport ont donné lieu au terme générique « télématique de transport ». Dans ce deuxième chapitre, nous avons mis en évidence le contexte générale et les différentes technologies des STI qui devraient aider leurs déploiement. L'objectif de ce chapitre est la mise en évidence de la relation entre les STI et les nouvelles technologies afin de mieux comprendre l'une de ses principales composantes, leur fonctionnement ainsi que leur architecture de base. Il expose en outre les gains engendrés pour améliorer la sécurité routière, l'information et les services à l'intention des voyageurs, la fluidité du trafic et de l'environnement. Nous avons montré que les STI peuvent exercer une véritable influence sur la gestion des questions actuelles liées au transport et qu'il existe un argument probant à l'appui du déploiement des STI à plus grande échelle. L'architecture du système sert de fondation pour l'élaboration des normes de STI. Étant donné que les normes de STI continueront à évoluer en fonction des développements technologiques, les professionnels des transports peuvent déployer les STI efficacement, pourvu qu'ils adoptent une stratégie proactive pour faire face aux nouvelles normes. Les technologies des STI sont appliquées souvent par rapport aux réseaux véhiculaires, ce qui nous oblige à étudier cette variante dans le chapitre suivant afin d'extraire les relations de ces applications aux réseaux véhiculaires et à la sécurité routière,

Chapitre 3

Les réseaux véhiculaires

3.1. Introduction

Les réseaux véhiculaires représentent aujourd'hui l'un des éléments de base sur lesquels vont se fonder les systèmes de transport intelligents. Nous apercevons ces dernières années que ces réseaux VANET ont reçu un grand intérêt de la majorité des projets de coopérations, les unités industrielles et les organisations de recherches. Ceci reflète une importante évolution dans le domaine des réseaux VANET, cette évolution est due essentiellement d'un côté au nombre élevé des accidents recensés chaque année et de l'autre aux besoins actuels en termes de sécurité routière ou confort de passager.

Dans ce chapitre nous allons détailler les notions de bases des réseaux véhiculaires à savoir les terminologies, les caractéristiques, les défis, les architectures, les services et les domaines d'applications de ces réseaux. Nous aborderons aussi les différentes technologies de communications utilisées dans les réseaux sans fil en générale pour étaler ensuite celles qui sont appropriées dans le domaine véhiculaire. A la fin de ce chapitre nous présenterons un état de l'art de quelques travaux de recherche sur le développement des systèmes de communications dans les réseaux VANET à savoir les systèmes de détection ou d'alerte de collisions.

3.2. Définitions, propriétés et services

Les premières recherches à propos des réseaux véhiculaires sont commencées d'une simple curiosité pour revêtir aujourd'hui un véritable intérêt et devient un domaine très actif, aussi bien du point de vue de l'industrie ou de l'avancement des diverses recherches qu'ont été menées par la communauté dite des Transports Intelligents. Ceci dont l'objectif est de fonder de nouvelles technologies capables d'améliorer la sécurité routière.

VANET (Vehicular Ad hoc NETWORK) : Les réseaux VANET sont en effet une classe émergente des réseaux sans fil, ils peuvent être considérés comme une particularité des réseaux MANET où les nœuds mobiles sont des véhicules intelligents, on parle de la notion de « véhicule intelligent » quand un véhicule est équipé de calculateurs, dispositifs de communications sans fil, cartes réseau et de capteurs. Enfin, un réseau VANET est formé de plusieurs véhicules communicants entre eux ou avec des

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

stations fixes afin d'offrir une conduite collaborative sécurisée et un environnement plus sûr [Salhiet *al.*, 2008].

L'intégration des systèmes de transport intelligents (STI) et les technologies de communications sans fil permettent aux réseaux véhiculaires d'avoir des propriétés spécifiques :

- « Collecte d'information: en utilisant différents capteurs et des caméras, le conducteur peut à bord de son véhicule d'avoir un certain nombre d'informations sur l'état de la route ».[Senouci *et al.*, 2006]
- Traitement et perception de l'environnement (processing) : les véhicules de nos jours sont dotés d'une grande capacité de traitement et d'intelligence, ils sont capables d'interpréter les informations collectées pour ensuite aider le conducteur d'avoir une meilleure visibilité et de prendre une bonne décision, cette dernière lui permet ainsi de réagir d'une manière adéquate aux changements de son environnement.
- Stockage : les applications des STI ont besoin des structures de données alimentées et mises à jour en fonction des événements et décisions du système de communication, un grand espace de stockage est donc nécessaire dans ce contexte afin de disposer des différentes classes et types d'information. « A noter que dans un réseau de véhicules, l'énergie et l'espace de stockage sont suffisamment disponibles.
- 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) ». [Senouci *et al.*, 2006]

Ces véhicules peuvent alors communiquer entre eux ou avec des stations de base placées tout au long des routes afin d'offrir un des services suivants :

1. *Une conduite collaborative sécurisée* : transmission des messages d'urgence (freinage, collision, danger quelconque ... etc.)
2. *Une conduite plus conviviale et confortable* pour le conducteur et ses passagers : partage de contenu, publicité, tourisme, internet.
3. *Une centrale d'informations sur l'état de l'environnement* dans lequel évolue le véhicule : état de la route, information sur l'environnement (place de parking, embouteillages)

4. *Un environnement de conduite plus optimisé* : ex. allumage automatique de l'éclairage sur les routes quand il ya du trafic [Salhiet *al.*, 2008].

3.3. Caractéristiques des réseaux VANET

Il est important de signaler que les réseaux VANET ont quelques spécificités qui les distinguent des réseaux MANET. Les travaux et les études de recherche réalisés dans le contexte des réseaux MANET ne peuvent pas être directement appliqués dans le domaine des réseaux de véhicules vus ses différences qui rendent l'application des protocoles et les architectures des réseaux ad hoc inadaptée. Dans ce qui suit nous présenterons quelques caractéristiques et contraintes liées à l'environnement des réseaux de véhicules qui les distinguent des réseaux ad Hoc [Senouci *et al.*, 2006]:

1. Capacité de traitement, d'énergie et de communication : Parmi les contraintes les plus importantes lors d'un traitement dans les réseaux ad hoc mobiles sont la contrainte d'énergie, par contre dans un réseau VANET, les véhicules ne souffrent pas de cette contrainte vue qu'ils n'ont pas de limite en terme d'énergie et ils disposent d'une grande capacité de traitement (peuvent avoir plusieurs interfaces de communication : Wifi, Bluetooth...) [Jerbi., 2008]

2. Forte mobilité et topologie du réseau : Le nœud mobile dans un VANET qu'est la voiture est caractérisée par une vitesse élevée, en un temps très court, la voiture peut rapidement rejoindre ou quitter le réseau. Par conséquent, cette forte mobilité des nœuds cause des changements rapides de la topologie du réseau.

3. Connectivité et partitionnement de réseau : la forte mobilité des véhicules et le changement rapide de la topologie de réseau donne comme conséquence la disparition de certain chemins i.e. le partitionnement du réseau peuvent fréquemment apparaître [Moustafa *et al.*, 2009].

4. L'environnement de déplacement et modèle de mobilité : dans un réseau MANET, les nœuds se déplacent aléatoirement, contrairement au réseau VANET où les véhicules suivent un modèle de mobilité spécifique, Les déplacements des véhicules sont liés aux infrastructures routières (limitation de vitesse, ronds-points, carrefours) [Senouci *et al.*, 2006].

5. Diffusion de type d'informations : généralement les types d'informations communiquées dans un réseau VANET s'orientent sur la diffusion des messages de prévention ou d'alerte d'une source à une ou plusieurs destinations. Néanmoins, la diffusion est faite en fonction de la position géographique et le degré d'implication de véhicule dans l'évènement déclenché. Dans de telles situations, les communications sont principalement unidirectionnelles [Moustafa et al., 2009].

3.4. Les applications des réseaux VANET

Les principales applications des réseaux VANET peuvent être placées selon le service offert en trois grandes catégories, chaque catégorie peut avoir diverses classes, et sur chaque classe plusieurs applications peuvent être distinguées.

3.4.1. Catégorie de la sécurité routière et prévention

La sécurité routière est prise en première priorité suite au nombre élevé d'accidents. Pour remédier à la sécurité des déplacements et faire face aux accidents routiers, les communications inter véhicules offrent la possibilité de prévenir les conducteurs sur l'existence d'un accident, des travaux sur la route et même de distribuer les informations météorologiques par envoi de messages d'alerte. A titre d'exemple, alerter un conducteur en cas d'accidents permet d'avertir les véhicules qui se dirigent vers le lieu de l'accident que les conditions de circulations se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance. Les messages d'alertes et de sécurité doivent être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible et doivent être émis à des périodes régulières [Moustafa et al., 2009].

Les applications liées à la sécurité ont suscité une attention considérable car elles sont directement liées à minimiser le nombre d'accidents de la route. Cette catégorie est associée aux applications de la classe « sécurité routière active » qui vise à fournir des services de sensibilisation et d'alerte au conducteur à travers trois types d'applications : la sensibilisation coopérative (CA), l'assistance à la conduite coopérative (CDA), et les applications d'alertes de risque de collision (RHCW). En fait, la classe de la sécurité routière active fournit des fonctions de sensibilisation qui fournissent des informations au conducteur pendant la conduite normale, avertissent le conducteur des conditions de

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

danger de la route et les accidents probables et aident activement le conducteur à éviter des accidents imminents. En d'autres termes, les applications liées à la sécurité sont responsables de: sensibilisation, mise en garde et d'assistance [Bouchemal *et al.*, 2014].

1. *les applications de sensibilisation coopérative CA*

Les applications de sensibilisations coopératives (CA) : consistent à sensibiliser les conducteurs des autres véhicules et fournir des informations sur l'environnement alentours du véhicule. Plusieurs applications sont offertes dans cette catégorie. Parmi ces applications, nous mentionnons : l'indication d'un véhicule d'urgence, indication de l'approche d'une moto et signalisation d'un véhicule lent. Pour ces derniers exemples d'applications, le véhicule diffuse des messages d'alertes à l'approche des véhicules dans son entourage. Les informations diffusées aident les conducteurs routiers à s'adapter aux conditions de la route.

2. *les applications d'assistance et d'aide à la conduite coopérative (CDA) :*

Ces applications fournissent des services d'assistance au conducteur. Beaucoup de services appartiennent à cette catégorie, entre autres:

- *Systèmes de conduite coopérative (CDS) :* cette application exploite l'échange de données de capteurs ou d'autres informations d'état entre les voitures. Ces systèmes de conduite aident les conducteurs pour maintenir un temps et une distance de sécurité entre les véhicules pour s'assurer que le freinage d'urgence ne causera pas de collisions entre les voitures. Le système de calcul des progrès adapte le progrès d'un véhicule en tenant compte des nouvelles conditions environnementales, la dynamique du véhicule, et des considérations de sécurité.
- *Assistance au changement de voie (LCA):* Cette application assiste le conducteur dans le choix de l'instant optimal pour changer de voie et influe sur le comportement des conducteurs en vue d'améliorer les performances de conduite.

3. *Application d'avertissement de collision et risque de la route (RHCW)*

Les applications de la classe (RHCW) fournissent des informations au sujet des collisions imminentes dues à l'état dangereux de la route, obstacles et conducteurs erratiques pour que les conducteurs soient vigilants à la collision imminente. Les systèmes de détection d'accident (CD) se fondent sur des radars, des capteurs, ou des

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

cameras afin de détecter une collision imminente. Plusieurs services sont offerts dans cette classe :

- Avertissement Coopératif de Collision : Un véhicule surveille activement les messages concernant le statut de la cinématique des véhicules de son voisinage pour avertir la collision potentielle[Bai et al., 2006].
- Emergence électronique des feux de stop : un freinage dur d'un véhicule provoque un message d'avertissement qui sera diffusé aux conducteurs mis en danger au sujet de la situation critique avec une latence minimum[Yunpeng et al., 2008].
- Notification des risques de la route : En détectant un risque de route (par exemple brouillard, fluide, glace, et vent), les véhicules se trouvant dans le même périmètre sont annoncés.
- Notification des caractéristiques d'une route : Un véhicule détectant une caractéristique de route (par exemple descente, virage courbe) informe les véhicules en voisinage.

3.4.2. Catégorie liées aux STI et à la gestion de trafic routier

Les applications liées aux *STI* comprennent les messages rappelant les limitations de vitesse ou les distances de sécurité aussi les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs : aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc.... [Jerbi., 2008]. Les applications liées à la gestion de trafic routier consistent à fournir aux conducteurs des informations leur permettant d'adapter leur parcours à la situation du trafic routier, comme exemple : l'ordonnement des feux de signalisations et la surveillance du trafic. [Ait-Ali., 2013]

La catégorie de la gestion du trafic est liée à la **classe de l'efficacité du trafic coopérative** (voir figure 3.1). Depuis que les congestions dépassent la capacité de demande de la circulation, une approche efficace basée sur la gestion du trafic est nécessaire pour réduire la congestion. L'efficacité de trafic coopérative se compose de deux applications : les applications liées à la gestion de la vitesse coopérative (CSM) et des applications liées à la navigation coopérative (CoNa)[Bouchemal et al., 2014] .

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

➤ *Les applications de la gestion de vitesse coopérative (CSM) :*

la gestion de la vitesse coopérative (CSM) comprend deux services .

CSM – La notification de la vitesse limite : fournit des notifications concernant la vitesse limite qui contient des limites de vitesse réglementaire actuels et des limites de vitesse recommandé contextuels.

CSM- vitesse optimale de feu de circulation consultative : Elle est responsable de la vitesse optimale de feu de circulation consultative. Pour ceci, une station sur l'infrastructure fournit des informations au sujet des phases courantes de feu de circulation, le temps restant avant des changements de phases et la durée de chaque phase.

• *Les application de la navigation coopérative (CoNa) :*

Un véhicule est conseillé pour un itinéraire optimal et il est assisté à la navigation. L'application CoNa propose de nombreux services parmi d'autres :

Trafic Probe : Véhicules agrègent les informations de la circulation probe et les transmettent aux unités en bord de route. Ecoulement libre (péage) : Les véhicules sont automatiquement facturés lors de leur passage à travers la zone de péage, en minimisant le retard. Immatriculation du véhicule, inspection, des pouvoirs : l'inspection du véhicule permet de contrôler la légalité des transports de marchandises / personnes. Les actions d'arrêter les véhicules pour vérifier la validité du permis de conduire ou pour vérifier l'état physique des véhicules avant d'entrer dans une infrastructure routière sont des exemples de contrôles de véhicules. Un réseau de véhicules sans fil permet l'échange de données entre les véhicules et entre les véhicules et les infrastructures routières [Bouchemaletal., 2014].

3.4.3. Catégorie liées au confort du conducteur et des passagers

Le genre de ses applications permet d'améliorer le confort des conducteurs et des passagers. Ce confort est illustré par l'accès à internet, la messagerie, le chat inter – véhicule, etc. Les passagers dans la voiture peuvent jouer en réseaux, télécharger des fichiers MP3, envoyer des cartes à des amis, etc. Nous citons comme exemple d'application la gestion des espaces libre dans un parking, l'application permet de

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

rassembler des informations sur la disponibilité de l'espace libre de stationnement dans les parkings et de renvoyer au conducteur la place libre la plus proche [Meraihi., 2011]. L'objectif général de cette catégorie est d'améliorer le confort des passagers. Elle est liée à deux classes, d'une part la classe des services locaux de coopération et d'autre part la classe des services d'internet globale.

La classe des services locaux publics coopérative : fournit des services d'application basés sur géo-localisation (LBS) :

- Les points de services de notification d'intérêt comprennent les véhicules station de l'approvisionnement en énergie, installation d'entretien des véhicules, la gestion des transports en commun, zone de repos, parking, hôtel / restaurant, lieu du tourisme, locale lieu de rencontre de l'événement, centre médical, poste de police et postes de péage.
- Annonces de service : les entreprises transmettent des données de marketing à des clients potentiels qui passent.
- Base de données de téléchargement : les véhicules téléchargent des cartes, multimédia à partir de hotspots mobiles. Ces services fournissent aux passagers des données audio et vidéo provenant de d'autres véhicules ou l'infrastructure. Un véhicule émet et transmet la vidéo en temps réel avec d'autres véhicules ou des unités bord de route .services de partage véhiculaires distribué des données ou des calculs sur les véhicules.

La classe de service Internet globale : cette classe fournit deux types d'applications : les applications des services aux collectivités (ComS) et les applications de la gestion de cycle de vie des stations ITs [Bouchemal et al., 2014]

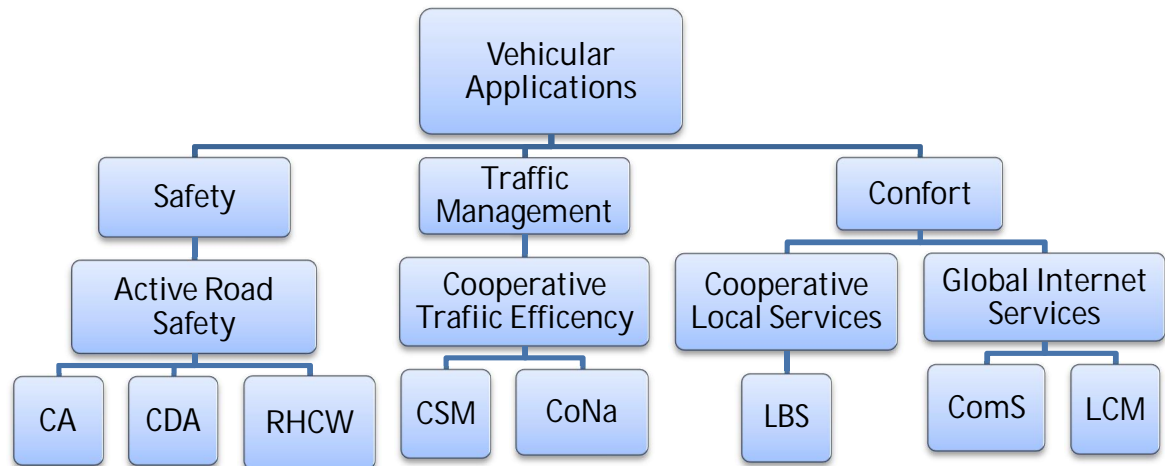


Figure 3.1. La classification des applications dans les VANET [Bouchemal et al., 2014]

3.5. Architectures des réseaux VANET

Les architectures dans un réseau véhiculaire peuvent être déployées suivant trois catégories

3.5.1. Les communications Véhicule à Véhicule (V2V)

Celle-ci architecture est une architecture décentralisée basé sur un système distribué autonome, i.e. elle est vue comme un cas particulier d'un réseau MANET où le réseau est formé par des véhicules et même sans appuis sur une infrastructure fixe pour se communiquer (voir la figure 3.2), les véhicules sont équipés de la technologie qui permet aux véhicules de communiquer entre eux n'importe où, que se soit sur les autoroutes, des routes de montagnes ou des routes urbaines, ce dispositif est connu sous le nom OBU (On Board Unite), ce qui donne une communication moins coûteuse et plus flexible. Cette architecture peut être utilisée dans les scénarios de diffusion d'alerte (freinage d'urgence, collision, ralentissement, ... etc.) ou pour la conduite collaborative [Qian *et al.*, 2008][Moustafa & Bourdon., 2008].

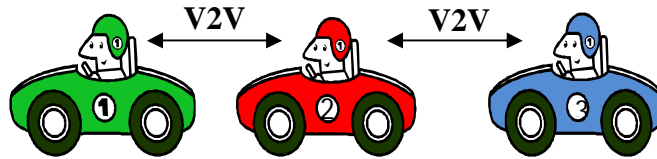


Figure 3.2 Communication véhicule à véhicule

3.5.2. Les communications Véhicule à Infrastructure (V2I)

Celle-ci est une architecture centralisée basée sur des stations de bases dans leurs communications, les véhicules garantissent des communications avec l'infrastructure en utilisant des points d'infrastructure (voir la figure 3.3). Ces points d'accès sont également connus sous le nom *RSU (Road Side Units)*, situés dans certaines sections critiques de la route, tels que les feux de circulation, intersections, ou les stop, afin d'améliorer l'expérience de conduite et la rendre plus sûre. Cette architecture peut être utilisée dans les scénarios comme accès à Internet, état de la circulation, contrôle de vitesse...etc. [Qian *et al.*, 2008][Moustafa & Bourdon., 2008].

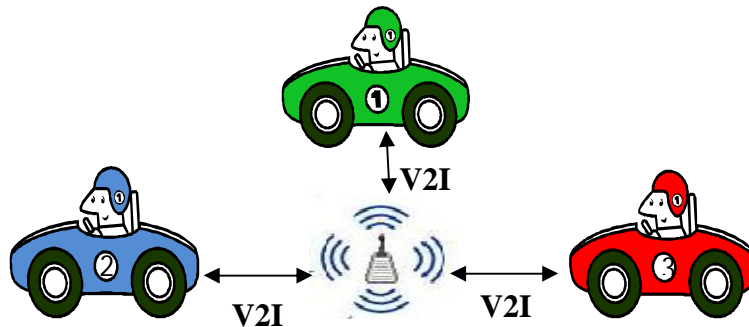


Figure 3.3. Communication Véhicule à Infrastructure

3.5.3. Les communications Hybrides (V2V-V2I-I2I)

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride très intéressante (voir la figure 3.4). En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation de véhicules comme relais permet d'étendre cette portée. Dans un but économique et afin d'éviter la multiplication des stations de

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

bases, l'utilisation des sauts par véhicules intermédiaires prend tout son importance [Qian et al., 2008][Moustafa & Bourdon., 2008].

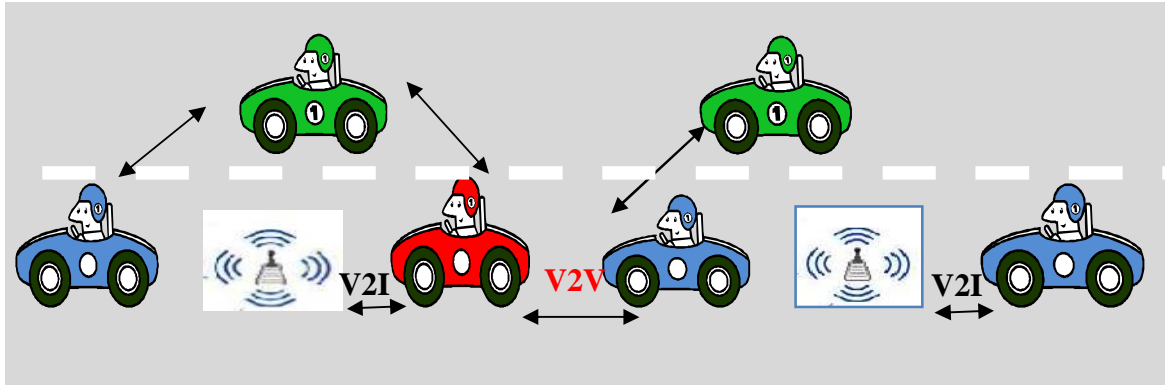


Figure 3.4. Communication Hybrides (V2V, V2I)

3.6. Les technologies de communication pour les réseaux de véhicules

Cette section présente les technologies possibles de la communication dans les transports, les besoins de ces technologies dans les applications VANET en termes de communication et délai. Nous allons éclairer les technologies de communication à savoir par une liaison radio, cellulaires ou sans fil. Par la suite nous présenterons un l'état de l'art sur le standard DSRC et l'environnement WAVE (Wireless Ability in Vehicular Environment). Pour établir une communication entre deux entités nous avons besoin de deux choses principales en commun : un langage de communication et un moyen de communication.

3.6.1. Les techniques de communications radio

Un système de communication comprend tous les éléments capables de véhiculer de l'information (son, données informatiques, vidéo..) d'une source vers une ou plusieurs destinations [plainchault., 2005]. Depuis la naissance des réseaux sans fil, les communications sont passées de la communication analogique filaire vers une communication numérique sans fil. De nombreuses technologies de communication peuvent être utilisées pour assurer l'échange de données entre véhicules, ces techniques en liaison décrites avec les communications radio :

1. **Le système RDS (Radio Data System) :** cette technique est basée sur un système de diffusion de données par la radio, elle permet de diffuser en parallèle un flux permanent d'informations numériques avec les émissions des radios FM. Nous pouvons citer comme exemple : TA (Traffic Announcement) diffuse des informations routières. TP (Traffic Program) désigne une station offrant le radioguidage. Le media RDS-TMC (Radio Data System – Traffic Message Channel). Les véhicules équipés de récepteurs RDS-TMC peuvent recevoir des messages à raison de 20 par minute. Ce mode de communication est adapté pour les liaisons à moyenne distance (de 10 à 100 km). [Belarbi., 2004]
2. **Le système DAB (Digital Audio Broadcasting) :** c'est un système de transmission du son numérique, Deux bandes de fréquence sont allouées au DAB terrestre : la bande III dans l'intervalle de fréquence 174 - 230 MHz et la bande L utilisée en France qui se situe entre 1452 MHz et 1467.5 MHz. En plus du son à qualité numérique, on peut diffuser par le media DAB des services de données textuelles ou graphiques. Il s'agit soit de données insérées dans la composante audio elle-même et qui sont appelés PAD (Program Associated Data) soit de données diffusées par un canal indépendant de l'audio et ce sont les NPAD (No Program Associated Data) [Thèse FB]
3. **Le système DVB (Digital Vidéo Broadcasting) :** Les spécifications de la norme du DVB définissent un ensemble de moyens permettant la diffusion de tous types de données, accompagnées d'informations les concernant sur tous types de médias.

3.6.2. Les techniques de communications sans fil

Les technologies de communications sans fil sont en plein développement. Parmi les technologies utilisées dans les communications inter-véhicules, nous pouvons citer

- Les systèmes qui réutilisent des infrastructures existantes, systèmes cellulaires de 2G vers 3G et d'autres évolutions (GSM, GPRS, 3GPP...)
- Les réseaux locaux sans fil (WLAN) qui sont principalement constitués des normes IEEE 802.11 (Wifi), IEEE 802.16 (Wi-MAX) et 802.11p (DSRC).

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

La communication sans fil dans l'environnement véhiculaire est basée sur deux entités d'équipements : le premier est un dispositif installé sur des sections critiques autour de l'infrastructure (stop, intersections...), et le deuxième est celui qu'on trouve embarqué sur le véhicule connu sous le nom OBU [Morgan., 2010].

3.6.2.1. Les systems cellulaires

Le principe de base de la radiotéléphonie cellulaire consiste à mettre en place de nombreux émetteurs de faible puissance couvrant des zones géographiques réduites, i.e. réutilisées plusieurs fois, les mêmes fréquences dans les cellules voisines en limitant la taille des cellules. Une architecture de téléphonie cellulaire est constituée des stations mobiles (MS ou Mobile Station), des stations de base (BTS ou Base Transceiver Station et BSC ou Base Station Controller) et des centres de commutation mobile (MSC ou Mobile Switching Centre).[[Belarbi., 2004]]

- **GSM** : Le GSM (Global System for Mobile Communication), est un standard mondial, plus d'une centaine de pays l'ayant adopté à travers le monde. Il utilise 2 fréquences, 900 MHz et 1,8 GHz (1,9 GHz aux USA) et peut transmettre des données Internet à une vitesse de 9,6 kbit/seconde (56 kbit/seconde pour un modem de base Internet). Il peut aussi transmettre des messages SMS (Short Message Service).
- **GPRS** : Le GPRS (General Packet Radio Service) est une évolution des réseaux GSM avant le passage à la troisième et quatrième génération. En termes d'architecture, les deux réseaux fonctionnent en parallèle : le premier pour le transport des données, le second pour la voix. Ils utilisent les mêmes équipements. La différence réside dans l'ajout au GSM de routeurs de paquets de données dédiés à la gestion des mobiles. L'interface radio utilise les mêmes bandes de fréquence que son prédécesseur.
- **UMTS** : C'est la troisième génération de téléphone mobile ou 3G, annoncée avec un débit de 2 Mbps, l'UMTS permettra de surfer sur Internet à haut débit à partir de téléphones mobiles, en autorisant notamment la transmission d'images vidéo.

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

L'introduction des technologies des réseaux cellulaires comme (GSM, GPRS et UMTS) dans les communications véhiculaires a commencé dans les premiers temps par les communications longue distance (V2I), l'avantage de ces réseaux est que l'infrastructure existe déjà. La G2 est mal considérée pour ce genre de réseaux à cause de leur faible débit, par contre la technologie UMTS offre un débit plus important et supporte la forte mobilité des véhicules [Andrisano et al 2000] le souci majeur de ces réseaux cellulaires est la faible latence et le coût de déploiement des infrastructures téléphoniques.

3.6.2.2. Les réseaux sans fil

Les protocoles et les standards de communications qu'ont été conçus pour les réseaux sans fil comme IEEE 802.11a ou IEEE 802.11g ne sont pas toujours appropriés dans le domaine des réseaux VANET, ce qui a motivé les chercheurs et communautés de standardisation pour proposer de nouvelles technologies, des nouveaux standards et protocoles de communications adaptés aux besoins de la communication inter véhiculaire.[Borgonovo et al.,2003]

Parmi de nombreuses technologies de communications qui existent pour échanger de l'information par une liaison radio (WPAN, WLAN, WMAN, WWAN), aucune de ses solutions ne peuvent satisfaire à la fois les besoins des applications inter véhiculaires, soit en termes de délai, portée, bande passante, soit en terme de déploiement du réseau. Les réseaux cellulaires ne sont pas adaptés aux IVC pour plusieurs raisons : (i) les délais des communications via une infrastructure fixe sont inacceptables pour les messages de sécurité, (ii) les capacités pour les satisfaire peuvent être limitées et (iii) les applications STI nécessitent des transmissions fréquentes de courtes durées qui seraient extrêmement coûteuses. Une grande portée et un débit important ont offert par les technologies WMAN. Cependant, ces technologies nécessitent une infrastructure importante et donc leurs déploiements ne sont pas faciles (investissement coûteux). Par contre, les réseaux WPAN sont écartés à cause de leur très faible portée.

WLAN semble être la solution la plus adoptée pour satisfaire les besoins des communications et les applications inter-véhiculaires, non seulement pour la portée, délai et la bande passante, mais surtout pour la facilité de déploiement [Jerbi., 2008].

3.6.3. Les activités de standardisations (802.11p, DSRC et WAVE)

Dans cette section, nous nous intéresserons à l'applicabilité de standard IEEE 802.11 dans les communications inter-véhiculaires et son adéquation aux réseaux VANET. Le standard IEEE 802.11 est une norme qui décrit les propriétés et les caractéristiques d'un réseau local sans fil (WLAN), cette norme offre des débits de 1 ou 2 Mbps. Des améliorations ont été apportées à la norme initiale (802.11a, 802.11b, 802.11g...802.11n), dont l'objectif est d'optimiser les débits et d'assurer une meilleure interopérabilité [Jerbi., 2008].

Les WLAN sont conçus pour les réseaux à faible portée et à faible débit. Par contre la plupart des applications envisagées pour les réseaux véhiculaires nécessitent une technologie qui supporte la forte mobilité des véhicules aussi qu'un débit et une portée importantes. Pour surmonter ces insuffisances une nouvelle norme de type WLAN a été proposée pour les communications dans un réseau véhiculaire [Ait-Ali., 2013].

En juillet 1998, CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) a réalisé un rapport sur les technologies des communications dédiées à courte distances (DSRC) dans le cadre de projet « route intelligente » du SETRA, piloté par Gilbert BATAAC. Cette technologie DSRC a commencé dans les applications de télépéages, et par la suite adaptée à d'autres applications [CERTU, 1998].

En 1999 L'ITSA (Intelligent transportation society of America) a sollicité la FCC (Federal Communications Commission) pour l'allocation d'une bande passante de 75 MHz dans une gamme de fréquences 5.850-9.250 pour assurer les communications à courte portée et dédiées aux STI. En 2002 l'ASTM (*American Society for Testing and Materials*) a adopté d'une manière définitive la norme DSRC (dedicated short range communication) pour les communications dédiées Infrastructure - Véhicule. En 2003 le groupe de travail IEEE a repris ces travaux pour définir une nouvelle norme dédiée aux communications inter-véhiculaires, nommé IEEE802.11p, est connu aussi sous le nom de WAVE (*Wireless Ability in Vehicular Environments*). La notion de multi canaux est assurée par cette technologie pour garantir les applications de sécurité et les autres services liés aux systèmes de transport intelligents

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

3.6.3.1 DSRC [CERTU, 1998][plainchault., 2005][Jerbi., 2008]

Le DSRC (Dedicated Short Range Communication) est un standard de diffusion d'informations par l'intermédiaire des ondes radar, il représente que la partie «air» de la communication, c'est à dire la transmission radio établie entre des équipements fixes jalonnant l'infrastructure routière RSU (Road Side Unit) et des équipements embarqués à bord des véhicules connu sous le nom OBU (On bord Unit). DSRC s'œuvre dans une bande de fréquence des 5.9GHz (Europe et Etats-Unis) ou 5.8GHz (Japon) et sur une largeur de bande de 75 MHz (voir la figure 3.5). Elle est généralement segmentée en 7 canaux de 10 MHz chacun, l'ensemble des canaux se répartissant fonctionnellement en 1 canal de contrôle et 6 canaux de service, l'amélioration de la version de DSRC est illustrée dans le tableau 3.1. Le canal de contrôle est réservé à la transmission des messages de gestion du réseau et des messages de très haute priorité à l'instar des certains messages critiques liés à la sécurité routière. Quant aux 06 autres canaux, ils sont dédiés à la transmission des données des différents services annoncés sur le canal de contrôle.

Tableau 3.1. Une comparaison entre l'ancien et le nouveau DSRC [CERTU, 1998]

	Le nouveau DSRC	L'ancien DSRC
Le débit	3-27Mbps	0.5 Mbps
La mobilité	>60 mph	----
Temps de latence	< 50ms	----
La portée (le rang)	<1000m	<30m
Taille de spectre sur la bande de fréquence	75 MHz 9.885—9.925	915 MHz
Type de modulation	OFDM	---
Nombre de canaux	07	01 Sans licence
Communications supportées	V2V, et V2I	V2I

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

Avantages [Belarbi., 2004]

- Une communication DSRC dédiée encapsule les données transmises. Une trame DSRC transporte tout type de données.
- Rapidité, sécurité des transmissions.
- Bonne fiabilité des données échangées (taux d'erreur de 10^{-6} à la vitesse de 160 Km/h).
- Technologie pouvant supporter simultanément plusieurs applications.
- Localisation précise des véhicules.
- Norme DSRC stabilisée.
- Gratuité de la fréquence de transmission contrairement à la téléphonie cellulaire.

Inconvénients : [Belarbi., 2004]

- Technique limitée aux infrastructures équipées de balises.
- Dépendante du taux d'équipement des véhicules.
- Stade expérimental pour quelques applications basées sur cette technologie.
- Capacité de transmission réduite (sauf pour la norme japonaise).
- Besoin de synchronisation des horloges de tous les communicateurs constituant le système.
- La fiabilité du calcul des temps de parcours en est fortement tributaire.

3.6.3.2. Le standard IEEE802.11p

Dans ce qui suit nous allons détailler le standard IEEE 802.11 p accordé au modèle OSI, nous nous intéressons à la couche physique et Mac.

3.6.3.2.1 La couche Physique IEEE 802.11p

Cette couche utilise le même mécanisme de traitement de signal et les mêmes spécifications dérivées de l'IEEE 802.11a. Cependant quelques modifications pourraient être apportées pour l'adapter aux environnements véhiculaires. Elle est capable d'offrir un débit entre 6 et 27 Mbps (pour une portée qui peut atteindre les 1000 mètres et supporter des vitesses allant jusqu'à 200Km/h) avec un codage et modulation de type OFDM (Orthogonal Frecancy division multiple Access),

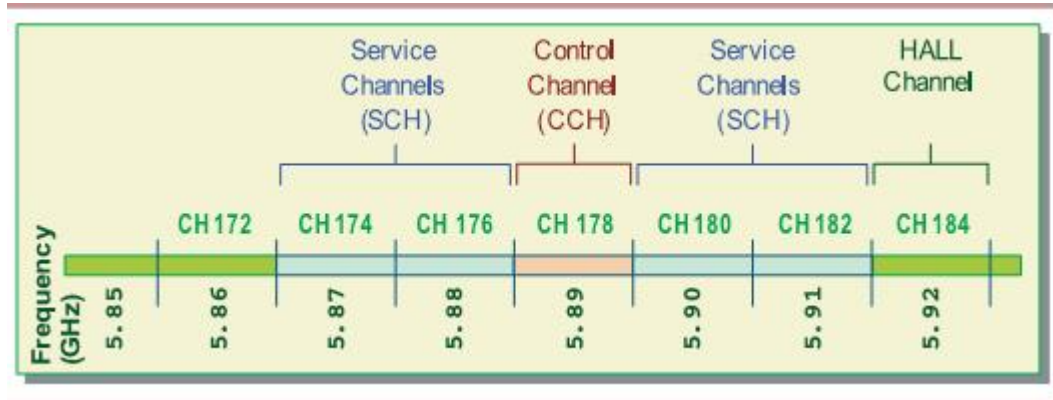


Figure 3.5 Les canaux disponibles sur la bande de fréquence DSRC [Morgan., 2010].

3.6.3.2.2 La couche Mac d'IEEE 82.11p [Jerbi., 2008]

La couche Mac de protocole 802.11p est basée sur le mécanisme du CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*) dans la gestion de la qualité de service. Dans le marquage de priorité est basée sur la technique EDCA (Enhanced Distributed Channel Access Quality of Service extension), cette technique est la même utilisée dans la norme IEEE 802.11g. Les messages sont rangés dans quatre (4) classes d'accès différentes (*Access Classes AC*) chacune ayant sa propre priorité : AC0 ayant la priorité la plus petite et AC3 la plus élevée (voir le tableau 3.2). De plus chacune de ces classes disposent d'une file d'attente. Ainsi, un paquet arrivant dans l'une de ces files ne sera pas envoyé immédiatement, il devra attendre un temps minimum dans cette file, ce temps étant fixé par ces paramètres de contention. Le temps minimum qu'un paquet devra attendre est déterminé de la façon suivante : il est égal à la somme de l'AIFS et CW :

- l'AIFS (*Arbitration Inter-Frame Space*) : c'est la durée d'attente fixée et dépendante de la classe (9 périodes de 16 μ s pour la classe AC0 et 2 périodes pour la classe AC3) ;

- la fenêtre de contention CW (*Contention Window*) qui est une valeur aléatoire prise entre 0 et CWmin (dépendant de la classe)

Une fois ce temps d'attente soit écoulé, le paquet sera envoyé, si une collision survient la transmission est retentée en utilisant une CW augmentée de $2(CW+1)-1$. Cette augmentation continue jusqu'à ce que le paquet soit transmis, ou la valeur de CW

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

atteigne CWmax (dépendant également de la classe) ou le nombre maximal d'essais atteint la limite fixée (7 tentatives)[Park *et al.*, 2012][Qian *et al.*, 2008]

Tableau 3.2. Paramètres d'accès aux catégorie et canaux. [Jerbi, 2008]

AC	CWmin	CWmax	AIFS	T μs	Canaux DSRC
0	aCWmin	aCWmax	9	264 μs	178, 174, 180, et 182
1	$\frac{aCWmin + 1}{2} - 1$	aCWmin	6	152 μs	178, 174, 180, et 182
2	$\frac{aCWmin + 1}{4} - 1$	$\frac{aCWmin + 1}{2} - 1$	3	72 μs	174, 176, 180, et 182
3	$\frac{aCWmin + 1}{4} - 1$	$\frac{aCWmin + 1}{2} - 1$	2	56 μs	174, 176, 180, et 182

3.6.3.3. WAVE (Wireless Access in vehicle environment)

Le modèle de communication à courte portée DSRC est conforme à la architecture OSI mais avec une importance accordée à 3 couches suffisantes pour les besoins de la communication [Jerbi, 2008]. C'est la couche 1 dite « Physique » basée sur le lien micro-ondes à 5.8 GHz, et la couche 2 dite « Liaison » permettant la gestion des données et les communications les véhicules et l'infrastructure et la couche 7 dite « Application » comportant un ensemble de commandes qui traitent les applications envisagées i.e. les applications embarquées sur le dispositif. Le reste de la pile protocolaire de WAVE se situant entre la couche liaison de données et la couche application représente l'architecture de WAVE que le groupe IEEE1609 à standardiser sous quatre catégories comme la figure 3.6 le montre:

IEEE 1609.1 - WAVE Resource Manager : permet aux applications distantes une bonne gestion de ressources de OBU telle que : la mémoire et l'interface utilisateur en garantissant l'interopérabilité [1609.1., 2006].

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

IEEE 1609.2 – *WAVE Security Services for Applications and Management Messages* : décrit le format des paquets et les fonctions de sécurité dans un système WAVE pour les messages de sécurité, données et gestion [1609.2., 2006].

IEEE 1609.3 - *WAVE Networking Services* : définit les services de niveau réseau et transport incluant l’adressage, le routage et la transmission, l’envoi est basé sur le protocole WSMP (*WAVE Short Messages Protocol*) qui permet un échange efficace des messages WSM (*WAVE Short Messages*)[1609.3., 2010].

IEEE 1609.4 - *WAVE Multi-Channel Operation*) : définit les mécanismes d’accès en priorité, la coordination et la gestion des 7 canaux DSRC lors de routage et transmission de données [1609.3., 2010].

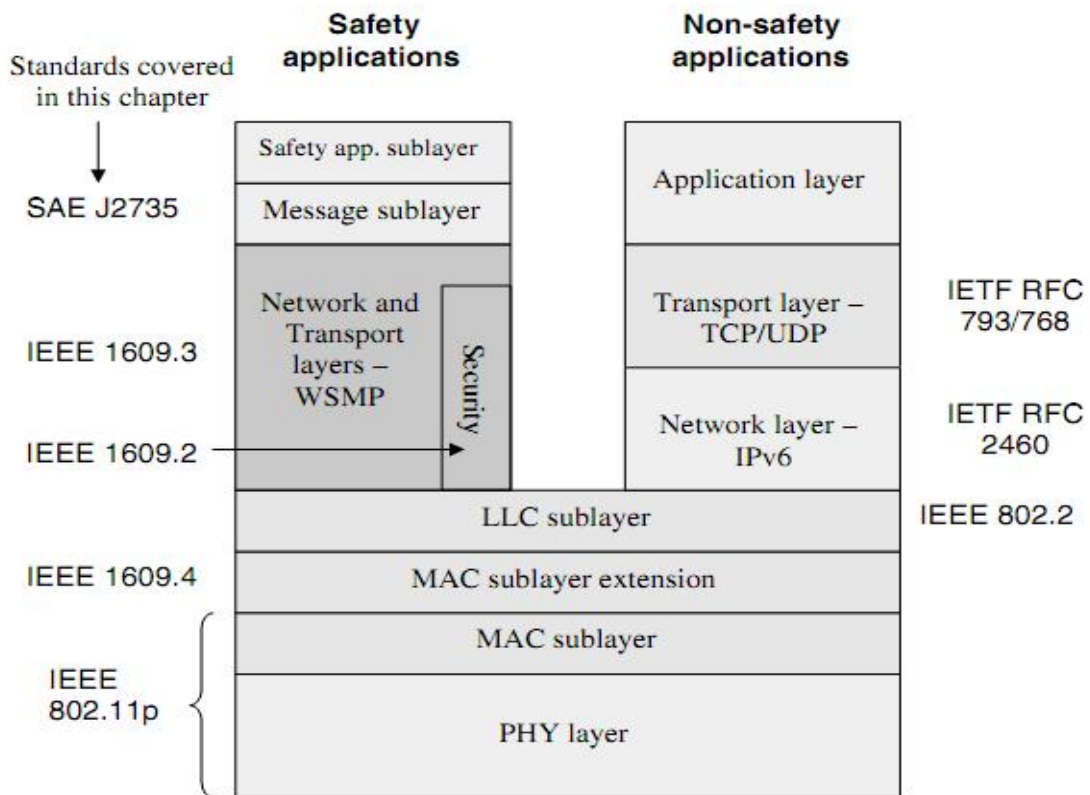


Figure 3.6. La pile protocolaire de DSRC [Park et al., 2012].

3.7. Les projets de recherches

Plusieurs consortiums et projets se sont penchés sur le sujet de la communication sans-fil dans les transports, que ce soit des organisations gouvernementales, des entreprises industrielles ou des centres de recherches. Nous citerons ci-dessous quelques projets importants :

Le projet AUTO21 : Ce projet a été lancé par le gouvernement du Canada par l'intermédiaire de la Direction des Réseaux de centres d'excellence et par plus de 110 partenaires industriels, gouvernementaux et institutionnel. Le bute principale du projet est de développer un protocole de communication inter-véhicules pour adapter et contrôler la vitesse dans un système collaboratif (*Collaborative Adaptive Cruise Contrôle-CACC*). Ce projet a été divisé en six parties : la sécurité, les préoccupations sociétales, les matériaux, les carburants, la conception et les capteurs intelligents [AUTO21., 2008].

Le projet FleetNet : C'est un consortium Européen initié par un de six industriels et trois universités allemandes. L'objectif de FleetNet consiste à développer une plateforme de communication pour les réseaux de véhicules (Internet on the road), et de standardiser les solutions proposées afin d'assurer une meilleure sécurité au conducteur et ses passagers. Le moyen de communication utilisé est UTRA-TDD (*UMTS Terrestrial Radio Access with Time Division Duplexing*). Le protocole de routage utilisé est basé sur la topologie du réseau et la position des véhicules ainsi que les communications V2I sont considérées pour offrir le service internet aux véhicules. [Festageet al., 2004].

Le projet NOW(Network On Wheels) : Le projet NOW (Réseau sur roues) est le successeur du projet allemand FleetNet. Ce projet a été lancé par le gouvernement fédéral de la recherche et de l'éducation en Allemagne (les constructeurs automobiles, opérateurs de télécommunications et les universités). Un des principaux objectifs c'est la mise en œuvre d'un protocole de communication et des algorithmes de sécurité des données en réseau véhiculaire. Prend en considération les technologies sans fil 802.11 et le routage basé sur la localisation dans les communications V2V ou V2I, l'objectif est de mettre en œuvre un système de référence et de contribuer à la normalisation d'une telle solution en Europe en collaboration avec le consortium Car2Car [NOW., Site 2014].

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

Le consortium de communication Car2Car : Il a été lancé par six constructeurs automobiles européens ((BMW, Audi, Daimler Benz, Fiat, Honda, Opel, Renault, Volkswagen)). L'objectif de ce projet est double : d'une part la gestion efficace du trafic à travers l'utilisation des IVC (Inter Véhiculaire Communication) et d'autre part l'amélioration de la sécurité routière, dont l'objectif principal est de collaborer à la création d'une norme de communication véhiculaire européenne couvrant tous les constructeurs [Car2Car., 2002].

Le projet PReVENT : Ce projet est proposé par l'union européenne (UE), vise à élaborer des démonstrations pour les applications relatives à la sécurité routière en utilisant des dispositifs de détection et de communication, 23 voitures intelligentes et capteurs. Il consiste à développer un système intégré d'aide à la conduite [Prevent., Site 2013].

Le projet GéoNet [Geonet., Site 2013] : il a été constitué par sept partenaires européens dont le but primordial est la conception et le développement d'une architecture de communication, cette architecture est basée sur le routage géographique multi-saut (véhicule à véhicule) dans l'acheminement des messages vers l'ensemble de destinations sur une zone géographique bien déterminée. Le protocole de communication IPv6 géo-networking est utilisé pour l'accès internet et l'acquisition des données.

Projet VSC (Vehicle Safety Communication) : ce projet a été lancé dans le cadre de la collaboration entre US DOT (*United States Department Of Transportation*) et les constructeurs d'automobiles (*Mercedes Benz, Ford et Toyota*). Il traite les besoins des applications de sécurité de haute priorité en termes de communication, temps de latence et délai. Ce projet vise aussi à confirmer que le protocole DSRC et la norme qui répondent mieux aux exigences de la communication inter-véhicules [VSC., 2011].

Le projet VII (*Vehicle infrastructure integration*) : Ce consortium a été lancé en 2003 par USDOT (*US Department of Transportation*) et aussi avec les constructeurs automobiles (BMW, Chrysler, Daimler Benz, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Nissan, Subaru, Suzuki, Toyota, Volkswagen). Son objectif est de fournir une nouvelle gamme de services aux conducteurs automobiles par une variété d'applications de sécurité des véhicules et des applications à intérêt commercial. Ces applications sont

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

basées sur la technologie DSRC et le système GPS. L'achèvement du projet étant prévu à l'horizon 2017 [VII., Site 2014].

3.8. Etat de l'art sur les VANET

Depuis la naissance de ce qu'on appelle les systèmes de transport intelligents, plusieurs branches ont été explorées dans ce domaine et des recherches se sont penchées sur le domaine de la sécurité routière soit sur la conception et le développement des nouvelles technologies de communication soit sur la couche réseau et routages.

Yang *et al.*, proposent un protocole de communication V2V avec une stratégie d'alerte de collision coopérative nommée VCWC (Vehicular Collision Warning Communication). Ce protocole inclut un mécanisme de différenciation de message selon des niveaux de priorités pour partager un canal commun. Les applications de non-sécurité ont une faible priorité et les politiques de contrôle de congestion pour les messages d'alerte d'urgence – EWM (Emergency Warning Messages) ont une priorité élevée. La tâche principale du système proposé est d'avoir un temps de latence faible lors de transmission des messages d'urgences dans des diverses situations de la route. Le véhicule anormal (AV) envoie un EWM pour tous les véhicules potentiellement mis en danger. La performance du protocole a été validée à l'aide de simulateur NS2, les auteurs ont évalué le taux de transmission par rapport au délai d'EWM, le temps d'attente et le temps de la retransmission. Les résultats de simulation prouvent que le protocole peut satisfaire les exigences de la transmission EWM et de supporter un grand nombre d'AVs avec un faible coût de la bande passante [Yang *et al.*, 2003]

Tang *et al* présentent des stratégies d'alertes pour l'évitement des collisions sur la base d'une analyse et une synchronisation des événements (temps de latence de communication, rang de détection, les conditions de la route, réaction de conducteur et le taux de décélération). Les auteurs décrivent la conception de système d'évitement de collision sur la base de deux timings d'évitement de collision : le temps critique et le temps préféré pour éviter la collision [Tang *et al.*, 2010]

Sengupta *et al.* introduisent le concept de systèmes de CCW (Cooperative Collision Warning) , ce concept consiste à fournir aux conducteurs dans une telle situation, des

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

alertes sous forme d'affichages de sensibilisation, toute en se basant sur des informations des mouvements des véhicules voisins obtenus par les communications sans fil DSRC, chaque véhicule a besoin de connaître les lieux et les mouvements de tous véhicules voisins, représentant l'état du voisinage du véhicule. L'algorithme d'alerte d'intersection proposé montre deux icônes d'affichage utilisés dans le prototype CCW. L'icône « Ne tourner pas à gauche » serait déclenchée si le conducteur met sur le signal de tourner à gauche dans une intersection et le système détecte un conflit. Sinon, concernant la détection des risques dans une intersection, le système affiche l'icône 'STOP'. L'alerte d'intersection est basée sur deux principaux paramètres : le temps et la distance. Le temps de collision (TTC : Time To Collision) et la distance de collision (DTC : Distance To Collision). Ces deux paramètres sont utilisés pour déclencher l'alerte. Avant de calculer TTC et DTC, il est nécessaire de déterminer le point de la collision. Cette dernière est un point où les deux véhicules se rencontrent, il est obtenu par la projection des trajectoires de véhicules à la carte du véhicule voisin en supposant qu'ils vont continuer tout droit. Les auteurs ont expliqué la conception prototypage et l'évaluation expérimentale de système CCW. Les résultats expérimentaux montrant l'exécution d'un premier prototype de système de CCW [Sengupta et al., 2007].

Salim *et al.*, proposent une méthode pour l'acquisition de connaissances des accidents d'intersection et détection de collision en temps réel pour mettre en œuvre la sensibilisation à l'intersection ubiquitaire qui est basé uniquement sur des calculs de trajectoire. Le système de sécurité d'intersection développé devrait être en mesure de régler différents types de carrefours par les modèles d'acquisition sur un ordinateur en utilisant la méthode d'extraction de données. Ces modèles sont utilisés pour des paires de véhicules à calculer la possibilité de parcours affirmation et futurs événements de collision. Dans cette proposition, l'algorithme de détection de collision est incorporé dans chaque véhicule de réseau. Cet algorithme calcule un futur point X (x^+ , y^+) et le moment où le véhicule atteint le point de collision future (TTX). L'ensemble des futurs événements de collision détecté pour la première fois est enregistré dans un fichier journal, avec les attributs suivants : numéro d'immatriculation de véhicules, point de collision, le temps de collision, emplacement des deux véhicules, et le type de collision. Le temps de détection moyenne (temps de collision) pour chaque terme est calculé. La

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

collision est évaluée lorsque le système de prédiction donne la concurrence du futur événement de collision. Chaque fois que l'événement de collision soit détecté, il est considéré comme un vrai positif (détection valide). Par contre, quand un événement de collision n'est pas prévu, il est compté comme un faux positif (détection invalide). Dans le cas où une collision se produise sans être prédite par le système, il est compté comme faux négatif (pas de collision) [Salimet *al.*, 2007].

Les systèmes de sécurités actives ASS (Active SafetySystems) ont été introduits par [NHTSA, 1997]. Ceci est un système de véhicules qui fournit des alertes ou d'autres formes d'aide aux conducteurs basés sur les des capteurs embarqués dans les véhicules telles que le radar ou lidar.

Les auteurs Rezasei et al améliorent le système de base ASS en CASS (Cooperative Active Safety System) par l'introduction des technologies de localisations et de communications comme le GPS et le DSRC. Les auteurs proposent quatre schémas de communications (la communication périodique, la communication périodique avec modèle, la communication variable et la communication variable avec répétition), appliqués à un système de sécurité actif et coopératif CASS (Cooperative Active Safety System). Le principe de base de ces communications sont l'échange et le suivi des données entre les véhicules comme : la position, la vitesse et la direction des véhicules voisins. Le taux des paquets perdus lors d'une transmission n'est pas un paramètre important et même n'est pas efficace dans les applications de sécurité. Par contre, les auteurs prennent dans la mesure de performance le taux d'erreur des paramètres (position, vitesse et direction) lors de la réception par le véhicule voisin. L'objectif principal est de trouver parmi les quatre schémas celui qui permet de réduire l'erreur de la position dans les deux directions (latérale et longitudinale) [Rezaeiet *al.*, 2010].

Le principe d'ACC (*Adapdtive Cruise Control*) est de réduire automatiquement la vitesse d'un véhicule pour garder une distance sécuritaire avec la voiture qui précède. Le système reprend sa vitesse quand la voie devient libre. L'auteur P-L.Grégoire., a introduit dans sa contribution de recherche les notions de l'intelligence artificielle et la communication V2V pour améliorer l'approche ACC. Ces notions a été appliqué à un système de régulateur de vitesse adaptatif et collaboratif (*Collaborative Adapadtive*

Chapitre 3 : Les réseaux véhiculaires

Cruise Control : CACC). En échangeant des informations sur le freinage et l'accélération à l'aide de la communication, En plus de contrôler la vitesse, il peut contrôler la direction du véhicule et décider à quel moment changer de voie. L'approche proposée est conçue comme un agent intelligent et autonome capable de contrôler la voiture. Elle est basée sur la perception de son environnement à l'aide de capteurs, choisit une action et l'exécute. De plus, un module de communication permet d'échanger de l'information entre les agents, c'est-à-dire entre les véhicules voisins. [P-L.Grégoire., 2010].

3.9. Conclusion

Le développement des nouvelles technologies de communications et l'avancement des applications des STI ont favorisé un excellent stade pour l'évolution des réseaux véhiculaires. Dans ce chapitre nous avons donné un aperçu sur les réseaux VANET qui ne sont qu'une particularité des réseaux sans fil MANET. Par la suite, nous avons donné les différentes spécificités, contraintes, architectures et services d'applications pour distinguer les réseaux VANET par rapport aux réseaux MANET. Dans ce chapitre nous nous sommes basés sur l'aspect communication, i.e. les techniques de communications utilisées dans les VANET (Wifi, DSRC). La couche protocolaire des standards 802.11p et WAVE ont été bien détaillées. A la fin, nous avons également présenté ensemble des projets et travaux de recherche et quelques propositions récentes se rapportant à ce domaine. Nous pensons qu'une attention particulière doit être accordée lors d'une conception d'un nouveau algorithme ou protocole de communication. Les modèles de mobilité sont nécessaires pour mieux représenter le contexte réel. De plus, les tests de simulation de ces systèmes de communication sont conseillés avant de procéder à l'étape de déploiement. Les modèles de trafics ainsi que la simulation des réseaux VANET sont considérés et pris en compte dans le chapitre suivant.

Chapitre 4

Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

4.1. Introduction

L'implémentation des nouveaux protocoles de communications dans un environnement véhiculaire nécessitent des moyens de déploiements très coûteux. C'est la raison pour laquelle la majorité des chercheurs valident leurs propositions par des simulations avant de procéder à l'implémentation de leurs contributions. La conception d'un modèle de mobilité réel est une étape très importante dans le processus de simulation des réseaux VANET.

Ce chapitre présente le contexte de la simulation et la modélisation de trafic routier. La modélisation peut se faire à diverses échelles, avec des méthodes correspondantes. Commencant tout d'abord par le modèle macroscopique qui décrit le comportement des véhicules de manière globale en tenant compte de certains paramètres moyennés du trafic tels que la densité, le flux et la vitesse que l'on suppose continues dans le temps. A l'autre extrême, il existe les modèles microscopiques, dans lesquels on s'intéresse au mouvement individuel des véhicules, le mouvement de chaque véhicule est déterminé par celui du véhicule qui le précède. Entre ces deux échelles de présentation du trafic, nous présenterons la modélisation mésoscopiques du trafic.

Ensuite nous allons détailler le processus de simulation des réseaux VANET : la simulation de modèle de mobilité, le modèle du trafic et sa simulation. Un état de l'art sur les simulateurs et les protocoles de routages dans VANET sont présentés. Pour conclure à la fin par un exemple de certains simulateurs usuels tels que : MOVE, SUMO et Ns2. Le travail que nous présentons dans ce chapitre est une évaluation des performances d'un scénario réel sur un réseau VANET. La carte routière de teste a été capturée de la cité des Allemands (ville d'Annaba).

4.2. Modélisation du trafic routier

La modélisation et la simulation du trafic routier est un domaine qui traite la simplification de la circulation automobiles. L'esprit général de la modélisation du trafic est de pouvoir reproduire la réalité physique à l'aide de modèles qui permettent d'améliorer la compréhension du phénomène réel complexe et de lui donner une représentation simplifiée. [Costeseque., 2011]

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

La modélisation et la simulation du trafic est étudiée dont l'objectif est de contrôler, gérer la circulation et donner des solutions pour résoudre quelque problème (par exemple : congestion, accident, évacuation, etc.).

Plusieurs modèles existent et nous les classifions par la façon avec laquelle ils reproduisent l'écoulement des véhicules. Cette approche permet de distinguer dans les grandes classes les modèles macroscopiques et les modèles microscopiques [Buisson & Strada., 1996].

4.2.1. Approche microscopique

Dans ce modèle, les véhicules sont considérés uniquement de manière individuelle i.e. le véhicule est vu comme une entité indépendante de l'environnement [Wissam., 2012], les interactions entre véhicules et avec l'environnement sont prises en compte au niveau local [Benoit., 2009]. Bien que les modèles microscopiques soient souvent utilisés pour une simulation réelle du flux, la limitation du nombre de véhicules constitue un handicap pour ces modèles.

Les modèles microscopiques permettent de décrire les comportements individuels des usagers pour deux situations de conduite :

1. Le comportement en poursuite, correspondant au comportement d'un conducteur en réponse aux actions du véhicule qui le précède;
2. Le comportement de changement de voie au sens large. Cela comprend les manœuvres de dépassement en section courante tout comme les manœuvres d'insertion.

Nous commençons par une rapide présentation des notations utilisées dans notre chapitre. Notons tout d'abord le temps par la variable t . Dans le cas des modèles microscopiques, nous utiliserons les notations suivantes :

- La position du véhicule i à l'instant t , notée $x_i(t)$
- La vitesse instantanée du véhicule i à l'instant t , notée $v_i(t) = \dot{x}_i(t)$
- L'accélération du véhicule i à l'instant t , notée $a_i(t) = \ddot{x}_i(t)$.
- Nous notons $b_i(t) = \ddot{x}_i(t)$, $b_i(t) < 0$ La décélération du véhicule i au temps t .

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

- La longueur du véhicule i notée L_i
- L'inter-distance entre le véhicule i et son véhicule *leader* ($i-1$) au temps t , notée $s_i(t) = x_{i-1}(t) - x_i(t)$
- La vitesse relative du véhicule i par rapport à son véhicule *leader* ($i-1$) à l'instant t , notée $\dot{s}_i(t) = \dot{x}_{i-1}(t) - \dot{x}_i(t)$

Ces notations sont reprises sur l'illustration ci-dessous (figure4.1).

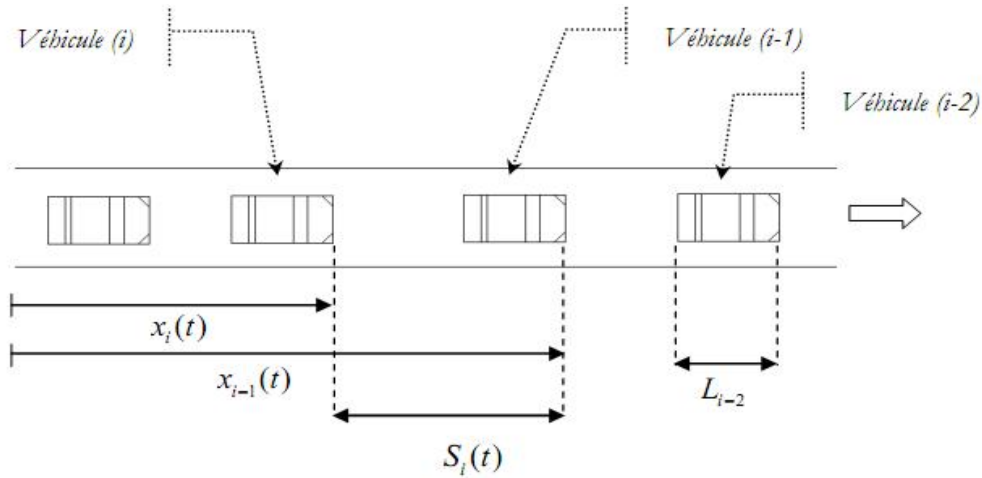


Figure 4.1. Les notations microscopiques. [Costeseque., 2011]

Un modèle microscopique classique est celui de follow-the-leader [Herman et al., 1959] [Gazis et al., 1961]. Ce modèle décrit le trafic sur une route par la façon avec laquelle le conducteur suit son prédécesseur sans possibilité de dépassement. Il est supposé que chaque véhicule suit son prédécesseur avec une relation de stimulation-réponse. L'accélération $d^2x_n(t+T)/dt^2$ du véhicule n à l'instant $(t+T)$, où T est le temps de réaction d'un conducteur, est donnée en multipliant par λ la réponse à la stimulation :

$$\frac{d^2x_n(t+T)/dt^2}{dt^2} = \lambda \left(\frac{dx_{n-1}(t)}{dt} - \frac{dx(t)}{dt} \right) \quad (4.1)$$

4.2.2. Approche macroscopique

Ce modèle est inspiré de la mécanique des fluides et modélise le trafic comme l'écoulement d'un fluide continu, décrit par les variables macroscopiques que sont le nombre de véhicules noté $N(x, t)$, la densité noté $k(x, t)$ et le débit noté $Q(x, t)$. La figure 4.2 illustre une représentation de la variable de débit.

Le débit classiquement $Q(x, t)$ correspondant au nombre de véhicules s'écoulant à un point d'abscisse x et au temps t par unité de temps :

$$Q(x, t) = N(x, t \rightarrow t + dt) / dt \quad (4.2)$$

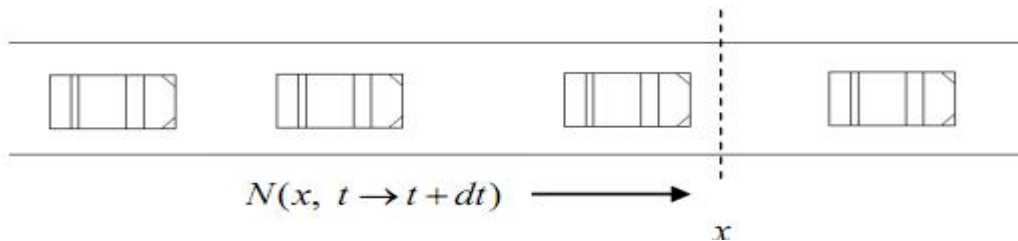


Figure 4.2 Illustration de la variable macroscopique le débit [Costeseque., 2011].

La concentration (appelée également densité spatiale instantanée) correspondant au nombre de véhicules par unité de longueur se trouvant sur une section voisine du point d'abscisse x , au temps t (voir la figure 4.3);

$$K(x, t) = N(x, t \rightarrow t + dt) / dx \quad (4.3)$$

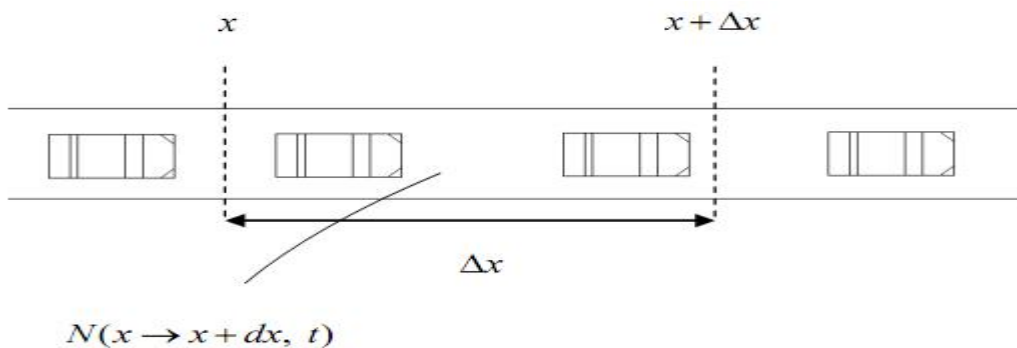


Figure 4.3 Illustration de la variable macroscopique « la densité » [Costeseque., 2011]

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

La vitesse de flot, notée $V(x, t)$ correspondant à la vitesse moyenne spatiale des véhicules situés dans la section $[x, x + \Delta x]$ au temps t . Cette vitesse de flot est donnée par le rapport entre le débit instantané et la concentration comme la figure suivante le montre (figure 4.4).

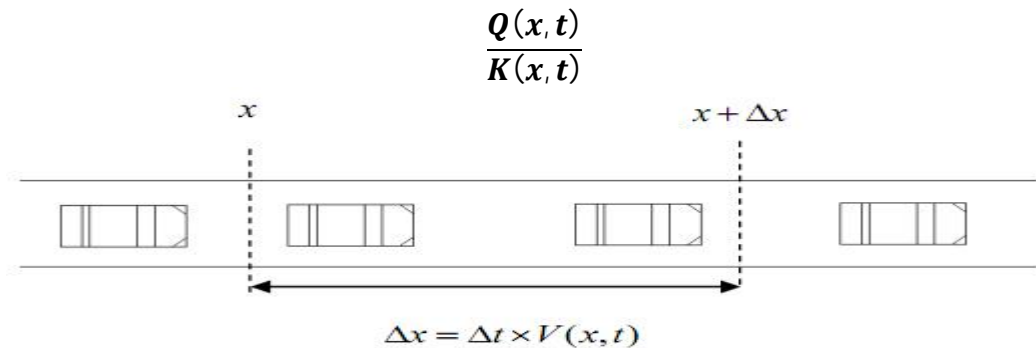


Figure 4.4 Illustration de la vitesse de flot [Costeseque., 2011]

Lighthill & Witham présentent le modèle macroscopique du trafic routier le plus connu est celui de (LWR) [Richards., 1956][Lighthill & Whitham]. C'est un modèle d'écoulement qui décrit le trafic par une équation de conservation des véhicules et une équation de comportement (le diagramme fondamental). L'équation de conservation des véhicules s'écrit :

$$\partial_t \rho(x, t) + \partial_x q(x, t) = 0, \quad (4.4)$$

4.2.3 Approche mésoscopique

Les modèles mésoscopiques utilisent un niveau de détail plus fin que les modèles macroscopiques. L'idée sous-jacente à cette approche est qu'effectuer des calculs sur des quantités agrégées à un niveau macroscopique ne fournit pas une description suffisamment détaillée des évolutions du trafic, mais que suivre et gérer les véhicules de manière individuelle est trop coûteux en temps de calcul. Pour pallier à ce problème, ces modèles proposent un compromis en composant approche macroscopique et approche microscopique : ils représentent le trafic par des « paquets » de véhicules regroupés en fonction de certaines caractéristiques [Jayakrishnan et al., 1994]. Différentes classes de conducteurs et différents types de véhicules peuvent par exemple être introduits.

Comme pour les modèles macroscopiques, les interactions entre les véhicules ne sont prises en compte qu'à travers des équations globales, tout comme les relations entre les véhicules et l'environnement [Benoît., 2009].

4.2.4. Modèle de particules « automates cellulaires –AC_e–»

Les automates cellulaires sont appliqués dans plusieurs domaines tels que la simulation et l'étude du développement urbain, la simulation des processus de cristallisation ainsi que l'étude de l'évolution de la population, dans ce que suite nous intéressons à l'application de cette approche dans la modélisation et la simulation du trafic routier.

4.2.4.1. Règles de fonctionnement

Un automate cellulaire (AC_e) est un procédé de simulation informatique fondé sur un découpage de l'espace en cases appelées cellules. A partir d'une configuration initiale, on fait évoluer dans le temps le contenu des cases tel que la transformation d'une case ne dépend que de ses cases voisines, et à chaque instant t on obtiendra une nouvelle configuration. Les phénomènes de trafic routier dont la dynamique est régie par des influences locales peuvent donc être simulés ainsi.

Un automate cellulaire est un quadruplé $AC_e = (d, V, Q, \delta)$ où :

- d est la dimension.
- V est le voisinage.
- Q est un ensemble fini d'états.
- δ est la fonction de transition.

Chaque cellule calcule son nouvel état au temps $t+1$ en fonction de son propre état et des états de ses cellules voisines au temps t , exemple si $c(i, t)$ dénote l'état de la cellule i au temps t , on a : $c(i, t+1) = \delta(c(i-1, t), c(i, t), c(i+1, t))$, et la règle d'évolution est la même pour chaque cellule c'est le principe d'uniformité. L'évolution débute par une configuration initiale : chaque cellule est dans un état donné à l'instant de départ $t=0$, par défaut, une cellule est initialisée à l'état quiescent #, un automate cellulaire ne s'arrête pas. [Neumann et al, 1996].

4.2.4.2. Modèle Nagel & Schreckenberg

Les modèles d'automates cellulaires (AC_e) sont de nature microscopique basés sur le découpage d'une portion de route en plusieurs cellules, chaque cellule suit une dynamique simple décrivant son évolution, l'évolution de cellules échangeant entre elles de l'information sous forme de véhicules. Ces modèles AC_e supposent que les deux espaces d'états et de temps sont discrets, et que les objets interagissant sont en nombre fini. Le modèle le plus connu appliqué au trafic routier est celui de [Nagel & Schreckenberg, 1992]. Dans ce modèle, les auteurs représentent un tronçon d'une longueur L par un certain nombre de cellules, cette dernière est soit dans l'état vide, soit dans l'un des états $\{0,1,2,3,4,5=V_{max}\}$, où la vitesse des véhicules est considérée comme étant un nombre entier compris entre 0 et V_{max} . Chaque véhicule n est caractérisé par une vitesse V_n et une position X_n , la distance séparant les véhicules n et $n+1$ à l'instant t est notée d_n , $d_n = X_{n+1} - X_n$. La dynamique est effectuée en parallèle pour tous les véhicules. L'état des cellules est remis à jour suivant des règles faisant intervenir les cellules voisines [Appert & Santen, 2002].

Étape 1 : Accélération : si $V_n < V_{max}$ et $d_n > V_n + 1$, la vitesse de $n^{ième}$ véhicule est augmentée d'une unité, mais V_n demeure inchangée si $V_n = V_{max}$. à.d. $V_n \rightarrow \min(v_n + 1, V_{max})$.

Étape 2 : Décélération (dû aux autres véhicules). Si $d_n \leq v_n$, la vitesse du $n^{ième}$ véhicule est réduite à $d_n - 1$, $v_n \rightarrow \min(v_n, d_n - 1)$.

Étape 3 : L'aléa. Si $v_n > 0$, la vitesse du $n^{ième}$ véhicule est réduite d'une unité avec probabilité p mais v_n demeure inchangée si $v_n = 0$, $v_n \rightarrow \max(v_n - 1, 0)$ avec une probabilité p .

Étape 4 : Mouvement des véhicules, Chaque véhicule avance selon $X_n \rightarrow X_n + v_n$.

Pour une description réelle du trafic [Nagel & Schreckenberg], on peut prendre la longueur d'une cellule égale à 7.5m, l'unité de temps à 1 seconde (ce qui correspond au temps de réaction d'un conducteur), et la vitesse maximale V_{max} égale à 5 sections/secondes = 37.5 m/s = 112.5 km/h. Les auteurs utilisent deux diagrammes principaux pour interpréter le trafic modalisé :

- Le diagramme espace temps :** c'est un diagramme qui représente l'état des cellules sur une longueur donnée, à chaque instant Δt , une nouvelle configuration de tronçon est calculée (voir la figure 4.5), l'espace est représenté sur l'axe des X et le temps sur l'axe des Y, à partir de ce diagramme on peut distinguer les différents écoulements (libre, embouteillé et synchronisé), on peut aussi calculer la densité, le flux .etc.

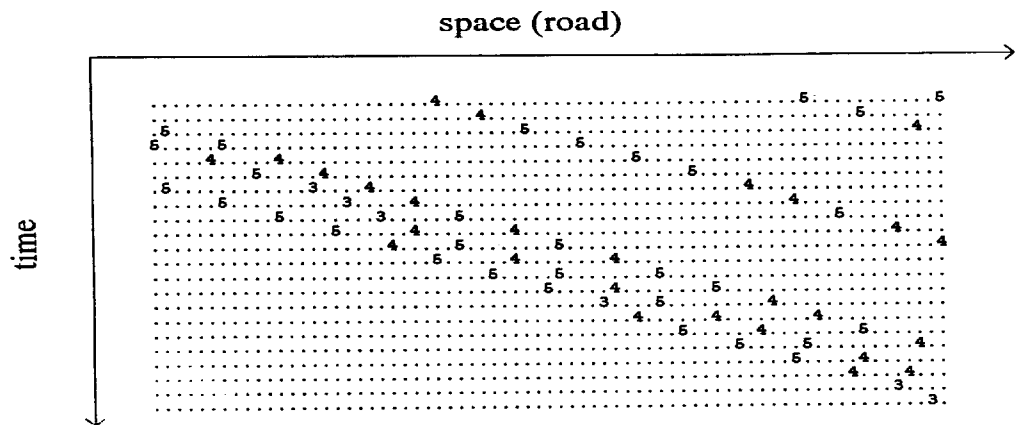


Figure 4.5 Diagramme Espace Temps dans un écoulement libre [Nagel & Schreckenberg, 1992]

- Le diagramme fondamental:** c'est un diagramme qui représente le flux par rapport à la densité, on essaye de trouver le flux en fonction du taux d'occupation. Le diagramme fondamental de ce modèle, obtenu pour des conditions aux limites périodiques et en régime stationnaire, est reproduit selon la vitesse max et la probabilité p sur la figure 4.6

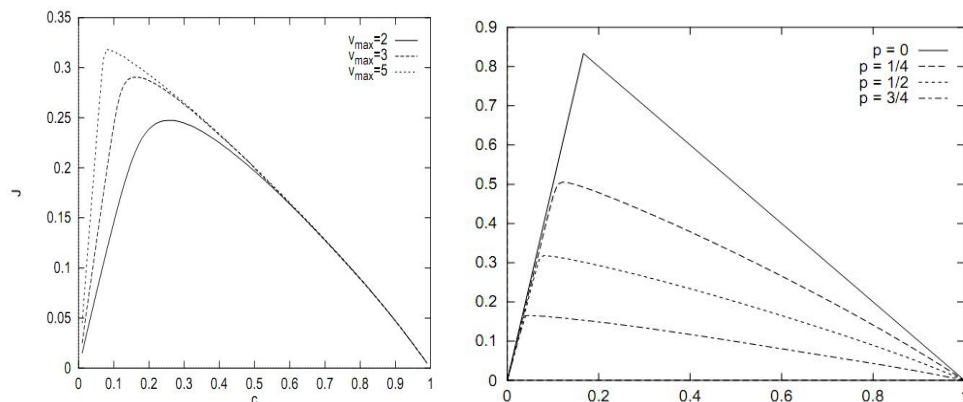


Figure 4.6 Diagramme fondamental pour le modèle de Nagel-Schreckenberg

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

Des améliorations peuvent être apportées à ce modèle dans le but de modéliser certaines situations. Par exemple, pour modéliser les accidents les auteurs *Boccaro et al* ont travaillé sur le changement des mouvements, ils ont appliqué l'étape 4 comme suit :

Si $V_{n+1}(t) > 0$ alors $X_n(t + 1) = X_n(t) + V_n(t + 1) + \Delta V$,

Où ΔV est une variable aléatoire qui suit la loi de Bernoulli de moyenne p [Boccaro et al., 1997].

4.3. De la modélisation microscopique à la simulation des réseaux VANET

La conception et le développement de nouveaux protocoles de communication est nécessaire pour les VANET, l'étape qui vient après la finalisation de toute conception ou modélisation est l'évaluation et la validation de protocole proposé. Ces systèmes et protocoles doivent être testés et évalués avant leurs application ou implémentation sur le monde réel La simulation dans les réseaux VANET est considérée comme la première étape pour réaliser des testes avant la fabrication de prototype physique. L'objectif de commencer d'abord par la simulation est la prédiction de comportements anormaux et les défauts des véhicule dans diverses situations et modifier la conception si nécessaire.

Les travaux de recherches sur la modélisation et la simulation des réseaux VANET peuvent agir sur deux aspects, soit sur l'aspect protocolaire qui consiste à définir des algorithmes permettant de reproduire les mécanismes utilisés dans les différentes couches qui interviennent dans les communications réseau (la connexion au niveau transport, l'adressage au niveau réseau, la politique d'accès au canal et l'ordonnancement au niveau liaison de données...) , soit sur l'aspect comportement qui étudié la modélisation du comportement des véhicules de réseau et la propagation des signaux radio dans l'environnement.

La modélisation des couches protocolaires dans les réseaux véhiculaires est similaire à celle des réseaux MANET. Les simulateurs définis pour les MANET peuvent être utilisés pour les VANET mais on ajoutant les solutions spécifiques aux monde véhiculaires tels que, la géo-localisation, les protocoles de routage géographiques et la norme IEEE 802.11p. La différence réside dans la modélisation de la mobilité et de la propagation des signaux radio [Ait-Ali., 2013]

4.3.1. Processus de simulation dans VANET

Le processus de simulation dans VANET exige quatre étapes qui doivent être exécutées (voir la figure 4.7). Dans ce qui suit, nous essayons d'expliquer les différentes étapes d'exécutions.

4.3.1.1. Génération d'une Mappe de simulation

Dans la première étape, nous avons besoin d'une zone de simulation appropriée au scénario désiré pour visualiser le mouvement des nœuds. Dans le cas des VANETs, la zone de simulation se présente comme étant une carte routière, cette Mappe peut être créé de deux manière, la première c'est une création manuelle i.e. donne la possibilité à son utilisateur de la générer ou bien de la dessiner d'une façon manuelle, dans ce cas là cette topologie n'est pas réelle c'est une carte imaginaire, la deuxième c'est une méthode qui se base sur l'importation automatique d'une carte réelle à partir des bases données en ligne , elle est prise soit sous forme des images satellites par Google Earth, soit tirée de la base de données [TIGER, 2013] (Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing system) ou l'extraire de site OpenStreetMap[OSM., 2013] sous forme d'un fichier .osm, en tout les cas, l'utilisateur personnalise la carte selon ces besoins de son scénario.

4.3.1.2. Simulation de modèle de mobilité et la génération du trafic

Un modèle de mobilité reflète le comportement et les déplacements des nœuds dans un réseau, où le but est de représenter au mieux les conditions de cette mobilité dans un contexte particulier du monde réel. Les déplacements des véhicules ne peuvent pas être représentés par les modèles de mobilité MANET, cela est du d'une part à la liberté restreinte des véhicules dans leurs mouvements car ils doivent obéir aux règles de la circulation, d'une autre part aux interactions entre véhicules.

Les modèles de mobilités conçus pour les réseaux MANET considèrent des mouvements aléatoires des nœuds comme le modèle Random Way Point (RWP) [Johnson &Maltz., 1996], chaque nœud choisit individuellement une destination et une vitesse aléatoire dans la limite géographique du réseau. Une fois la destination est

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

atteinte, le nœud effectue une pause pendant une période de temps. Après ce temps de pause, le nœud répète le processus, en choisissant une destination et une vitesse aléatoire différentes. Ces modèles ne sont pas applicables aux réseaux VANET où les déplacements et les vitesses des véhicules sont délimités et prédéfinis par les routes et le comportement des conducteurs qui doivent obéir aux règles de la circulation. Le modèle de mobilité dans un VANET se compose de méthodes qui gèrent les déplacements en sein de la mappe qu'on a défini précédemment, et de méthodes de communication qui permettent la connexion aux stations de base, la communication des véhicules entre eux et la circulation de l'information entre les nœuds du réseau. La représentation de la mobilité est très importante pour les simulations de réseaux de véhicules. Par conséquent, une attention particulière doit être accordée à la conception et à la définition d'un modèle de mobilité, considérant les caractéristiques et les contraintes de l'environnement modélisé, le modèle de mobilité et les modèles de trafic des nœuds sont définis, de ce fait permettant la création des traces de mobilité. Le développement ou la configuration de la simulation de modèles de mobilité et de trafic dans VANET suit deux approches différentes, la première approche consiste à mettre en application un nouveau modèle de mobilité i.e. la carte routière (les nœuds, les routes, les voies, les jonctions et les véhicules) et les règles de la circulation (la distance de sécurité et les priorités entre les véhicules) sont programmés à nouveau par l'utilisateur, la deuxième approche se base sur un modèle de mobilité déjà conçu ou un modèle de trafic déjà existant. L'exécution et la simulation de modèle de mobilité génère des fichiers TRACE qui décrivent les déplacements des nœuds mobiles du réseau, et les requêtes échangées par ces derniers. Ces fichiers traces sont ensuite utilisés par un simulateur réseau dans l'étape de la simulation réseau.

Fiore et al. [Fiore& di Torino, 2006] ont présenté une étude complète des modèles entrant dans la modélisation synthétique de la mobilité. Dans leur classification, les auteurs distinguent cinq catégories de modèles synthétiques ; (i) Les modèles stochastiques qui limitent la description de la mobilité à des mouvements purement aléatoires de nœuds dans un graphe ; (ii) Les modèles à flux de trafic qui se base sur trois variables microscopiques qui sont la vitesse (km/h), la densité des véhicules

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

(véhicules/km) et le flux de véhicules (véhicules/h) (iii) Les modèles car following qui décrivent le comportement de chaque véhicule en fonction du véhicule qui le précède ; (iv) Les modèles de file d'attente qui modélisent chaque route par une file d'attente FIFO et chaque voiture en tant que client ; (v) Les modèles de comportement où chaque mouvement est déterminé par les règles de comportement tels que les influences sociales. Il existe d'autre approche de modélisation de la mobilité dans les réseaux VANET comme la modélisation à base d'enquête, à base de trace et à base de générateur de trafic [Harri et al 2009].

4.3.1.3. Simulation de modèle réseau

La simulation est l'implantation d'un modèle simplifié du système à l'aide d'un programme de simulation adéquat. Cette méthode traduit le comportement du système à évaluer d'une manière réelle. La simulation permet de tester et visualiser à moindre coût les résultats sous forme de graphes faciles à analyser et à interpréter. Elle n'est pas une méthode exacte, et nécessite de prêter une attention particulière aux interprétations des résultats de simulation.

Le modèle de mobilité et les modèles de trafic des nœuds sont définis, de ce fait permettant la création des traces de mobilité. Le développement ou la configuration de la simulation de modèles de mobilité et de trafic dans VANET suit deux approches différentes, soit on doit mettre en application un nouveau modèle de mobilité, soit on utilise la mobilité un modèle existant du trafic.

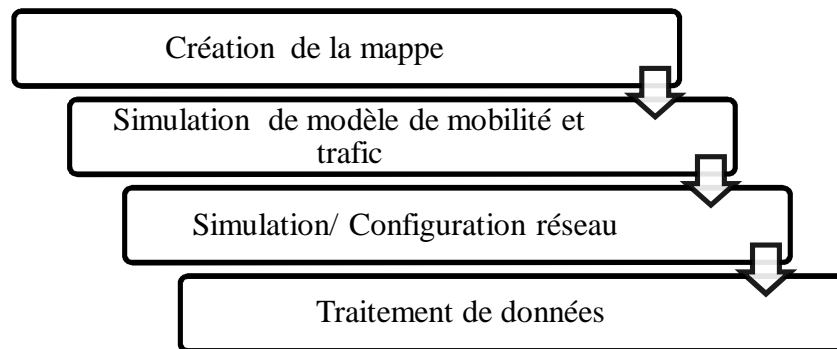


Figure 4.7 Le processus de simulation dans les réseaux VANET

4.4. Vue d'ensemble des simulateurs dans VANET

Dans cette section nous allons mettre l'accent sur les outils de simulation les plus utilisables dans le domaine de simulation des réseaux véhiculaires, nous allons présenter sur chaque étapes de processus de simulation les simulateurs pour la génération des modèle de mobilité, modèle de trafic ou modèle réseaux.

4.4.1. Simulateurs de mobilité et du trafic pour les VANET

L'étude de la mobilité des véhicules était l'un des premiers soucis rencontrés dans la simulation des réseaux VANET, pour cette raison nous constatons plusieurs simulateurs de mobilités qu'ont été conçus dernièrement :

Le simulateur CityMob[Martinez et al., 2008] : est un simulateur développé à l'Université Polytechnique de Valence, il est conçu pour être utilisé avec le simulateur NS-2 dans la génération de modèle de mobilité pour les réseaux VANET. Pour une représentation réelle des traces de scénario dans VANET, CityMob propose trois modèles de mobilité différents :

- (i) Modèle simple (MS) : Modèle de mobilité vertical et horizontal sans changements de direction ou feux de circulation.
- (ii) Le Modèle Manhattan (MM) : dans ce modèle, les nœuds se déplacent dans le sens horizontale et verticale sur une carte de type Manhattan, les routes sont à double sens avec une seule voie pour chaque direction, le mouvement de nœuds est choisi aléatoirement à chaque moment et ne peut pas être répétés dans deux mouvements consécutifs, ce modèle simule les feux de circulation à des positions aléatoire et des délais différents.
- (iii) Le modèle de Centre-ville (Downtown) réel (MD) : Ce modèle améliore le modèle de Manhattan avec la densité du trafic pas uniformément distribuée ;il y a des zones avec une densité plus élevée agissant en tant que centre ville. Ces secteurs les véhicules doivent se déplacer plus lentement que la périphérie. Le centre-ville peut être choisi et peut ne jamais couvrir plus de 90% de tout le domaine de carte. Il y a un paramètre, p , qui peut être employé pour établir la probabilité d'un nœud étant au commencement situé à

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

l'intérieur du centre-ville et également la probabilité que les nœuds sur les périphéries entrent dans le centre ville. Les dispositifs restants sont les mêmes que pour le modèle de mobilité de Manhattan.

Le simulateur VanetMobiSim [Haerri et al., 2006]: ce simulateur est une extension améliorée de simulateur CANU Mobility Simulation Environment (CanuMobiSim) développé dans l'objectif de fournir un haut degré de réalisme dans la simulation spécifique de la mobilité des véhicules en tenant compte à la fois des deux aspects macroscopique et microscopique de la mobilité. Au niveau macro-mobilité, le modèle tient compte de la topologie routière, de la structure des routes (le nombre des voies, la direction..), des caractéristiques de la route (limitation de vitesse, les panneaux de signalisation). Il ajoute aussi la gestion des routes à plusieurs voies de circulation, les flux unidirectionnel, et les contraintes de vitesse aux intersections. Les topologies routières peuvent être extraites de la base de données TIGER, définies par l'utilisateur ou générées aléatoirement. En outre les chemins de déplacements des véhicules sont configurables, soit en terme de distance sera le plus court chemin, soit en terme de densité des véhicules sur la route sera de vitesse limite.

Au niveau micro mobilité, VanetMobiSim se base sur les variantes de modèle IDM (Intelligent driving model), la variante IDM-CF(*IDM with car Following*) est utilisée pour la modélisation de l'interaction du conducteur avec son environnement, pour la simulation et la gestion des intersections entre les véhicules et les feux de signalisation, il se base sur la variante IDM-IM (*IDM with Intersection Management*), la variante IDM-LC (*IDM with Lane Changing*) est utilisée pour la simulation des changements des voies.

Le simulateur MOVE (MObility model generator for VEhicular network) [Karnadi et al., 2007]: est un outil qui permet la génération rapide des modèles de mobilité réels pour la simulation des VANET et se basant sur SUMO (*Simulation for Urban MObility*)La sortie de simulateur MOVE produit un modèle réel sous forme d'un fichier trace qui peut être directement utilisé dans plusieurs simulateurs de réseaux. MOVE comprend également un outil de visualisation qui permet aux utilisateurs de visualiser les traces de

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

mobilité générées. MOVE permet également de convertir les traces générées par SUMO en des formats utilisables par les simulateurs ns-2 et GloMoSim.

Le simulateur de trafic SUMO (Simulation for Urban MObility) [SUMO., 2007] : Sumo est un paquetage microscopique de simulation du trafic routier. SUMO est le simulateur de trafic open source le plus communément utilisé dans les récents travaux de recherche sur les réseaux véhiculaires. C'est simulateur portable capable de fournir des modèles de mobilité et de trafic précis. Il prend en compte plusieurs types de véhicules, les feux de signalisation, les intersections avec propriété, changement de voies, etc. SUMO utilise le modèle car following krauss pour simuler le comportement des conducteurs et RandomWaypoint pour la simulation des mouvements sur la route. Pour définir la topologie de la route, SUMO intègre des analyseurs pour différents formats notamment TIGER. *Karnadi et al* en 2007 ont proposé d'ajouter MOVE comme une extension à SUMO qui ajoute une interface graphique permettant aux utilisateurs de décrire les cartes et de définir les mouvements des véhicules. Dans l'avenir proche il sera prolongé pour modéliser d'autres modes de passage simultanément avec le trafic de voiture ordinaire.

Le simulateur CORSIM (Corridor Simulation)[CORSIM., 2010] : est un simulateur commercial très puissant et largement utilisé dans les systèmes de transport intelligent (STI), CORSIM est développé par le département American des transport et l'US FHWA (*Federal Highway American*) pour la simulation et la génération de trafic, il est basé sur un modèle de simulation macroscopique pour simuler le modèle de mobilité dans les autoroutes et les routes urbaines, il intègre plusieurs mécanismes dont le changement de voies, l'accélération et la décélération, car following, le contrôle aux intersections, etc. Le simulateur CORSIM est une combinaison de deux programmes distincts : le simulateur de route urbaine NETSIM, et le simulateur de routes expresse et d'autoroute FRESIM.

Le simulateur CARISMA [Schroth et al., 2005] : est un autre simulateur de trafic gratuit et réel développé par BMW. La topologie de route considérée est importée du standard ESRI¹ à laquelle sont ajoutés des panneaux Stop aux intersections. CARISMA détermine les points origine-destination de manière aléatoire et en temps réel dans le sens où il

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

intègre l'effet des événements externes. Le simulateur est capable de recevoir des messages du réseau qu'il utilise pour redéfinir le schéma de mobilité. La trajectoire entre les points origine-destination est calculée suivant l'algorithme de plus grands chemin et comportement des véhicules est modélisé par le modèle du car following Krauss Model. Une des limites majeures de CARISMA vient de la forme des fichiers ESRI qui ne sont pas accessibles au public et exige l'achat des produits ESRI. De plus, le changement de voies n'est pas en charge par le modèle.

Le simulateur PARAMICS [PARAMICS., 2008] ce simulateur est développé et commercialisé par une société britannique « Qudstone Limited », PARAMICS est constitué d'une suite de modules de simulation de trafic microscopique qui sont : un modéleur, un estimateur, un processeur, un analyseur, un programmeur et un moniteur. Le modéleur est considéré comme le cœur de simulateur, il fournit les fonctionnalités fondamentales pour la configuration de modèle de mobilité, la simulation, la visualisation du trafic et la génération des statistiques. Il utilise trois modèles pour définir le comportement des véhicules. Le premier modélise les déplacements en file des véhicules (car following), le second concerne la distance inter-véhicule et le dernier s'occupe de mécanisme de changement de voies.

Le simulateur eWord : eWorld est un projet réalisé par des étudiants de l'Institut HassoPlattner de Potsdam, en Allemagne. Le titre du séminaire correspondant est « eWorld ». eWorld importe les cartes de donnée réelles sous forme d'un fichier .OSM, soit de l'importer à partir des fichiers locaux ou les télécharger directement depuis le site openstreetmap.org [Ewold., 2013], eWorld visualiser cette carte avec les points d'intérêt, les feux de circulation, l'éditer avec des métadonnées de la rue tels que les noms, nombre de voies, la vitesse maximale et la priorité, ajouter des feux de circulation et modifier leurs logiques et ajouter ou supprimer des points d'intérêt et modifier leurs noms. Cette carte peut également être enrichie avec des événements ou des attributs d'annotation tels que les zones de conditions météo sévère (brouillard, pluie, neige, glace), les zones de construction configurables par l'utilisateur : taille de la zone, et les itinéraires définis par l'utilisateur. Enfin, pour l'exportation cette configuration de

simulation, nous pouvons passer à d'autres simulateurs de trafic, comme SUMO ou VanetMobiSim.

4.4.2. Simulateurs réseaux pour les VANET

Network Simulator « *NS2* » : Network Simulator ou plus communément NS est un logiciel libre de simulation par événements discrets très largement utilisé dans la recherche académique et dans l'industrie. Il est considéré par beaucoup de spécialistes des télécommunications comme le meilleur logiciel de simulation par événements discrets, en raison de son modèle libre, permettant l'ajout très rapide de modèles correspondant à des technologies émergentes. Il est basé sur l'utilisation de langages de scripts pour la commande des simulations (tcl/tk) alors que le cœur des simulations est implémenté avec le langage C++. Le logiciel NS est fourni avec une interface graphique (NAM) permettant de démontrer le fonctionnement des réseaux, ce qui en fait un outil à la valeur pédagogique très intéressante.

Le simulateur QualNet est un simulateur basé sur un ensemble de modules et de bibliothèques simulant chacune un aspect particulier des réseaux filaires ou sans fil sur une couche particulière du modèle OSI. Le simulateur QualNet définit deux modèles de mobilités : *RandomWay Point* et *Trace File*. Un autre modèle disponible dans QualNet est le *Trace File* qui permet d'utiliser des positions pré-calculées par un autre logiciel. En effet, les modèles de mobilité conçus pour les réseaux ad hoc mobiles à l'instar du RWP ne peuvent pas être directement utilisés dans les réseaux de véhicules où les déplacements et les vitesses sont délimités et prédéfinis par les routes et le comportement des conducteurs.

Le simulateur NCTU (Nation Chiao Tang University Network Simulator) [NCTU., 2013] : C'est un logiciel open-source sous Linux, Fedora 11, avec un environnement graphique intégré. Ce simulateur est développé comme un émulateur réseau, mais les versions les plus récentes (5.0) intègre des fonctionnalités non seulement pour les réseaux véhiculaires en générale comme l'implémentation complète de la norme émergente IEEE 802.11p et les normes 1069 pour les réseaux de véhicules sans fil, mais aussi pour la modélisation et la simulation des réseaux de véhicules tels que la conception et le

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

contrôle de la mobilité des véhicules i.e. auparavant, pour étudier la mobilité des véhicules nous utilisons des simulateurs de mouvements externes, l'avantage de NCTU par rapport aux simulateurs réseaux traditionnels est qu'il offre un module interne pour la simulation de la mobilité.

- Génère des résultats de simulation proche à la réalité on se basant sur des applications réelles dans la génération du réseau de trafic.
- La performance de toute application réelle peut être facilement évaluée sur NCTUns dans différentes conditions de simulation réseau.
- Tout programme d'application de réseau développé pour le dispositif NCTUns peut être exécuté directement sur un périphérique réel Linux sans aucune modification.

Le simulateur TraNs (Traffic et Network Simulation Environment)[Trans., 2013] est un simulateur du trafic et réseaux en même temps, TraNs combine entre le simulateur réseau Ns-2 et le simulateur de mobilité et du trafic SUMO, il est considéré quasiment le premier simulateur des VANET, comme il peut fonctionner selon les deux modes centré-réseau et centré-applications. En mode centré réseau, il n'y a pas de retour d'informations de simulateur TraNs vers SUMO, les traces de mobilité obtenu de simulateur SUMO sont transmises à Ns-2. Dans le mode centré application, la rétroaction entre Ns-2 et SUMO par l'interface TraCI pour assurer le fonctionnement simultané des deux simulateurs (SUMO et Ns-2). Ce simulateur garanti un lien entre les deux en convertissant les commandes en provenance de ns-2 en des primitives de mobilité telles que l'arrêt, changement de voies, changement de vitesse qui sont envoyées à SUMO. Cependant, l'inconvénient de TraNs réside dans les modèles de propagation radio irréels utilisés par ns-2 et qui sont pas spécifiques aux réseaux véhiculaires, aussi SUMO qu'est incapable de modifier les trajectoires des véhicules lorsque des imprévus apparaissent.

4.5. Simulation des protocoles de routages

Avant d'aborder la fonctionnalité du routage dans les réseaux de véhicules, nous allons brièvement rappeler quelques principes et travaux autour du routage dans les réseaux ad hoc mobiles (MANET).

Le routage est une méthode d'acheminement des informations à la bonne destination à travers un réseau de connexion donné. Le protocole de routage est un ensemble de règles qui permet d'acheminer un paquet envoyé par une source à une destination en respectant certains critères. Vu quelques exigences et contraintes de ces réseaux comme la limitation de la portée de transmission d'un nœud et les changements fréquents de l'état des liens, il s'avère nécessaire de mettre en œuvre des protocoles de routage qui s'adaptent aux exigences de ces réseaux.

4.5.1. Protocoles de routages pour dans les réseaux MANET

Les protocoles de routage dans MANET sont classés en plusieurs familles dont chacune ayant sa spécificité (voir la figure 4.8) :

La première famille concerne les protocoles de routage à plat (Flat routing), cette catégorie peut se diviser en deux sous-ensemble: d'un côté les protocoles proactifs qui va conserver toutes les routes possibles pour chaque destination dans le réseau. La route sera donc disponible immédiatement, nous pouvons citer comme exemple : FSR, OLSR et TBRPF [Gerla et al., 2001][Clausen& Jacquet., 2003][Ogier et al., 2004] et de l'autre les protocoles réactifs comme DSR et AODV [Johnson et al. 2004], [Pekins et al., 2003]. Ces protocoles attendent qu'une route soit demandée pour essayer de la déterminer. Il faut donc un laps de temps nécessaire à la recherche du chemin.

En parallèle, de nouveaux protocoles sont développés et conçus pour des réseaux à grande échelle comme les protocoles de routage géographiques ou hiérarchiques :

Le routage géographique est basé sur la situation physique des nœuds. Pour effectuer un routage géographique dans un réseau ad hoc, il est indispensable que : (i) tous les nœuds possèdent un moyen de localisation : via un système natif comme le GPS, Galiléo, ZigBee ou grâce à un système logiciel, (ii) un nœud source doit connaître la position du

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

nœud destinataire. Pour se faire, soit tous les nœuds connaissent les positions initiales de tous les nœuds, soit un service de localisation doit être utilisé. Parmi les propositions existantes dans la littérature, on distingue soit la catégorie qui utilise l'information de localisation dont l'objectif est l'amélioration d'un protocole de routage déjà existant ou bien la catégorie des protocoles géographique qui permettra de délimiter un périmètre de recherche dans lequel le protocole de découverte de routes sera plus efficace, on peut citer (GGER, LAR, GPSR, GRP.....).

Le routage Hiérarchique : Dans un routage hiérarchique il est question de partitionner le réseau en cluster pour une meilleure dissémination des informations de routage. Il s'agit en effet d'un routage où les nœuds ont une autorité plus ou moins importante et certains seront responsables d'une certaine zone afin de faciliter le routage. Le clustering consiste à classer les nœuds du réseau d'une manière hiérarchique suivant certains paramètres : adresse, zone géographique, capacités, etc. Un sous ensemble de nœuds est élu, d'une manière complètement distribuée, pour jouer le rôle d'un coordinateur local, comme exemple (CGSR, HSR, ZRP...).

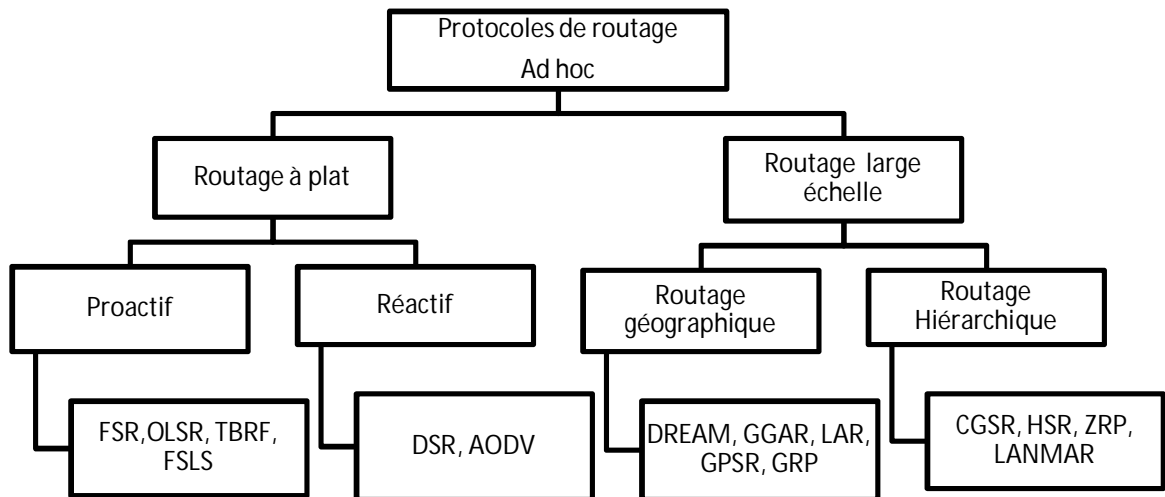


Figure 4.8. La classification des protocoles de routage dans les réseaux ad hoc [Jerbi., 2008].

4.5.2 Protocoles de routage pour les réseaux VANET

La majorité des protocoles conçus dans MANET ne sont pas applicable directement dans les réseaux VANET. La difficulté du routage dans les réseaux VANET réside essentiellement dans l'instabilité des chemins causée par la forte mobilité des nœuds et les fragmentations fréquentes du réseau. En effet, les protocoles proactifs tels que OLSR, FSR seront débordés par un changement de topologie très fréquent. A l'inverse, les protocoles réactifs comme DSR et AODV nécessitent un laps de temps pour la recherche d'une route. Le routage basé sur la localisation semble être le plus idéal pour les réseaux VANET. Les différentes solutions de routage proposées dans le cadre des réseaux de véhicules ont résolu ce problème en combinant un routage basé sur la localisation avec l'utilisation de la cartographie des routes. De nouvelles solutions ont été proposées pour mettre en place des protocoles de routage adaptés aux réseaux de véhicules. Nous pouvons distinguer trois grandes classes pour le routage VANET. La première catégorie concerne les protocoles de routage qui sont basés sur la topologie (OLSR, DSR, AODV...), la deuxième classe est basée sur la localisation et les protocoles de routages de la dernière classe sont basés sur le mouvement de véhicule (Trajectoire) comme la figure 4.9 illustre. Tout d'abord nous allons citer quelques travaux de recherches sur les protocoles de routage géographique.

Les auteurs *Lochert et al* proposent le protocole géographique GSR [Lochert et al., 2003], ce protocole est basé sur la combinaison des deux techniques de routages (les données sur la topologies des routes et les informations de localisation) pour construire une connaissance adaptée à l'environnement urbain. Son principe est basé sur l'ancre (ensemble d'intersection que le véhicule source désirent envoyer des données vers un véhicule cible), le véhicule source calcule le chemin de routage le plus court à partir des informations géographiques d'une carte routière, ensuite il sélectionne une séquence d'intersections par lesquelles le paquet de données doit transiter afin d'atteindre le véhicule destinataire. Cette séquence d'intersections est constituée d'un ensemble de points géographiques fixe de passage du paquet de données [Lochert et al., 2003]. Les mêmes auteurs ont proposé un protocole GPCR (*Greedy, PerimeterCoordinatorRouting*) [Lochert et al., 2004] qui est une combinaison du

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

protocole GPSR et l'utilisation de la cartographie des routes. Les auteurs supposent que chaque nœud peut savoir s'il est dans une intersection auquel cas il acquiert le statut de nœud coordonnateur. Ainsi, les messages sont transmis le long de la route en utilisant une approche gloutonne avec une préférence donnée aux nœuds coordonnateurs. L'inconvénient de ces deux protocoles est qu'une route sélectionnée peut contenir des tronçons de routes où il n'y a pas assez de voitures et par conséquent, plusieurs paquets peuvent être perdus par manque de connectivité.

Pour faire face à ce problème les auteurs Seet *et al.* proposent le protocole Anchor-based Street and Traffic Aware Routing A-STAR [Seet et al., 2004], ce protocole utilise particulièrement les informations sur les itinéraires d'autobus de ville pour identifier une route d'ancre (*anchor route*) avec une connectivité élevée pour l'acheminement des paquets. Ce protocole est basé sur la localisation (position) pour un environnement de communication véhiculaire métropolitain. A-STAR est similaire au protocole GSR du fait qu'ils adoptent les deux une approche de routage basée sur l'ancrage (anchorbased) qui tient compte des caractéristiques des rues. Cependant, A-STAR calcule les anchor paths en fonction du trafic (trafics de bus, véhicules, etc.). Un point est associé à chaque rue en fonction de sa capacité (grande ou petite rue qui est desservie par un nombre de bus différent). Les informations de routes fournies par les bus donnent une idée sur la charge du réseau véhiculaire dans chaque rue. Ce qui donne une image de la ville a des moments différents [Seet et al., 2004].

L'auteur M.Jerbi propose dans sa thèse de doctorat un protocole de routage géographique nommé GyTAR qu'est basé sur la localisation (position) et capable de trouver des chemins robustes dans un environnement urbain, d'ailleurs il est adapté aux réseaux véhiculaires. L'objectif de ce protocole est de router les données de proche en proche en considérant les différents facteurs spécifiques à ce genre d'environnements/réseaux. Ce protocole suppose que chaque véhicule connaît sa position courante et ceci grâce au GPS. De plus un nœud source est sensé connaître la position du destinataire pour pouvoir prendre des décisions de routage, cette information est donnée par un service de localisation tel que GLS (Grid Location Service) et peut déterminer la position des intersections voisines à travers des cartes numériques. Il est

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

constitué de deux composants principales : la sélection des intersections et l'envoi des données entre deux intersections [Jerbi., 2008].

Pour la classe basée sur la topologie, les auteurs dans [Senouci& Mohamed-Rasheed., 2005] ont évalué les performances de trois protocoles de routage ad hoc (AODV, DSR, et LAR). Les résultats de simulation ont montré que le routage géographique (LAR) est plus performant en termes de délai de bout en bout et de surcharge du réseau dans un environnement de type IVC. Par la suite nous présenterons les protocoles de routages basés sur la trajectoire (ou le mouvement de véhicule).

Le protocole de routage MORA (*MOvement-based Routing Algorithm*) proposé dans [Granelli et al., 2006] exploite la position et la direction de mouvement de véhicules pour adapter les décisions de retransmission au contexte des véhicules et faire face ainsi à la forte mobilité des nœuds et au changement assez fréquent de la topologie. Le protocole MURU (*A MUlti-hop Routing protocol for Urban vehicular ad hoc networks*) [Mo et al., 2006] est un autre protocole de routage basé sur le mouvement et adapté aux environnements urbains. Les auteurs utilisent une métrique appelée degré de déconnexion attendu (*ExpectedDisconnexionDegree*) pour évaluer la qualité du chemin.

Les auteurs proposent dans [Lebrun et al., 2005] l'algorithme MOVE (*MOvementVEctoralgorithm*) pour les communications V2R dans VANET. Cet algorithme utilise les vitesses des véhicules pour faire une transmission intelligente. Cette stratégie utilise une technique de Hello-Réponse pour détecter des nœuds mobiles, il suppose que chaque nœud a une connaissance sur sa propre position et direction, où la localisation de nœud destination est un endroit globalement connu et fixé, les nœuds prévoient qui est le plus proche de la destination, et tenir en compte les changements de la trajectoire des nœuds. Le nœud véhiculaire courant trouve la distance la plus étroite entre le véhicule et la destination de message le long de sa trajectoire. Le nœud véhiculaire courant envoie périodiquement le message Hello. Les nœuds voisins envoient un message d'Acquittement pour se faire connaître au nœud véhiculaire courant. Etant donné la direction d'où le nœud voisin se dirige; le nœud courant détermine la distance la plus courte à la destination le long de la trajectoire du nœud voisin. Le nœud courant prend alors la décision pour envoyer le message tout en

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

déterminant la distance courante du chaque véhicule à la destination. Avec l'évaluation des performances de résultats, les auteurs ont noté que si les routes sont suivies et uniformes alors le protocole de routage basé sur la position est mieux exécuter que le MOVE.

Dans [Leontiadis et al., 2007] les auteurs ont présenté un autre protocole de routage géographique basé sur la trajectoire nommé GéOpps, ce protocole est testé sur les réseaux tolérant aux délais, utilise le cheminement opportuniste avec l'approche *carry-forward* pour transmettre les messages. L'algorithme suppose que le véhicule emploie le système de navigation GPS et qui aide à conduire et de localiser l'emplacement des véhicules au bord de la route.

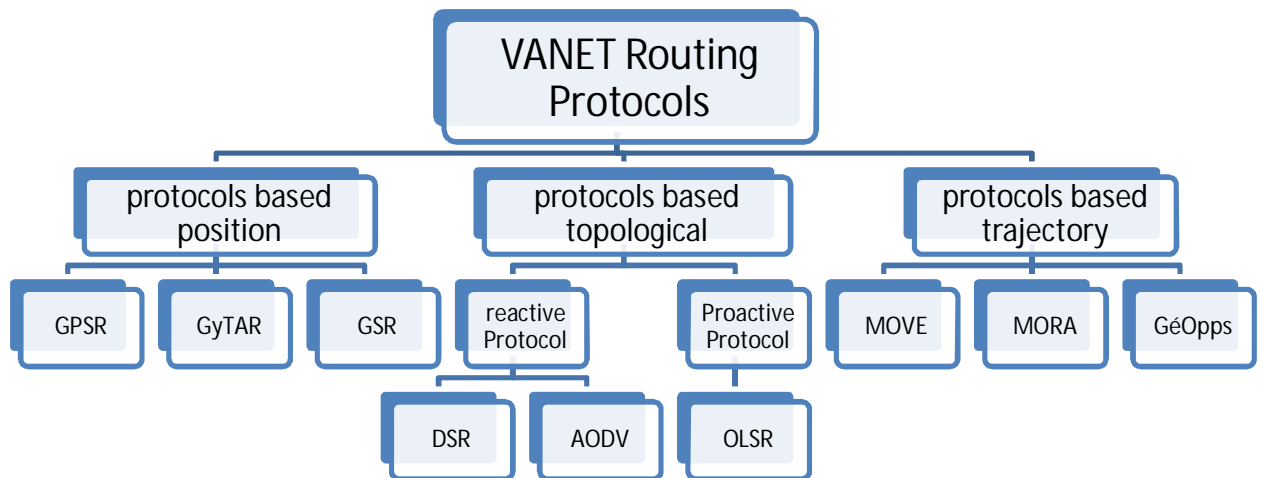


Figure 4.9 La classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET

4.6. Etude et simulation d'un scénario réel

Dans cette partie nous allons simuler un scénario réel en procédant à une variété de simulateurs présentés précédemment. Pendant le procédé de simulation décrit ci-dessous, il est très important de choisir les outils appropriés de simulation à chaque étape de processus. Dans cette section une mappe réelle à été simulé, nous allons prouver que le choix des outils de simulation à un impact direct sur les résultats obtenus. Le simulateur MOVE à été choisi pour générer le modèle de mobilité et le simulateur SUMO pour

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

générer le trafic sur notre scénario proposé. Concernant la simulation réseau et l'évaluation nous avons choisi le simulateur Ns2. Le scénario de simulation se passe dans un quartier urbain de 30 tronçons, chaque route contient deux voies. La zone est d'environ un kilomètre carré et le nombre de véhicules est respectivement de 5, 14 et 35. Les étapes de réalisation sont les suivantes :

1. Génération de notre mappe réelle : comme nous l'avons décrit précédemment, la première étape de la simulation consiste à définir notre mappe de simulation et elle doit être réelle. Dans notre cas nous avons téléchargé une carte réelle à partir du site GogleEarth(voir la figure 4.10). La carte routière de teste a été capturée d'une cité de la ville d'Annaba.

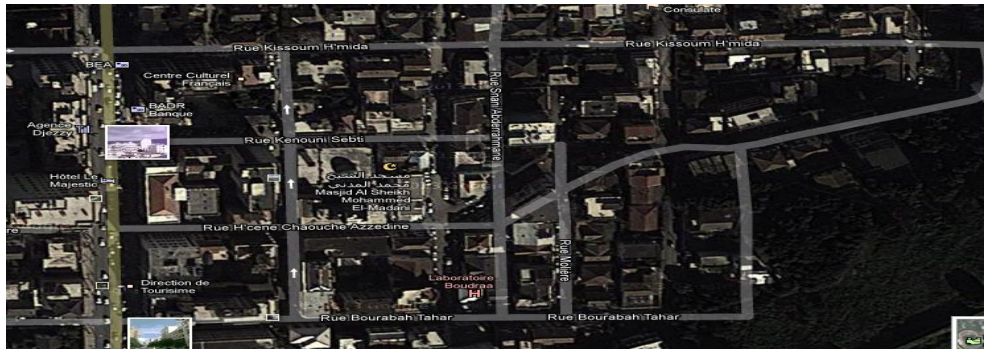


Figure 4.10 La carte routière de teste réelle

La mappe téléchargé par Google Earth sera importer comme un fichier .dat de site TEGER pour que le simulateur MOVE puisse la supporter, avec ce format, on l'intègre ensuite automatiquement dans le simulateur MOVE. Tout d'abord on sélectionne «modèle de mobilité » dans le menu principal (voir la figure 4.11) qui va permettre de créer les cartes ainsi que le mouvement des véhicules au sein de cette carte.

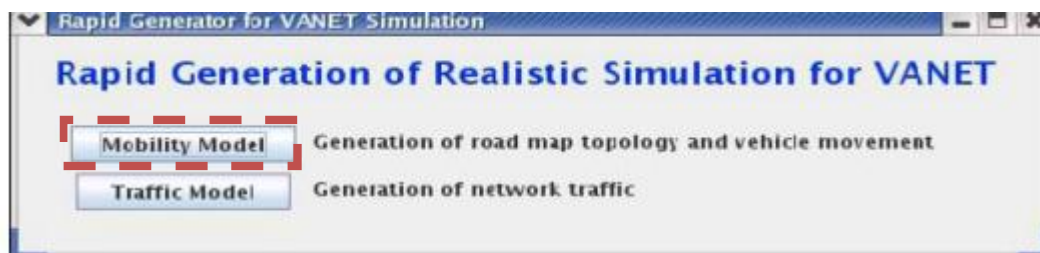


Figure 4.11 Le menu principal de simulateur MOVE

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

On clique ainsi sur Mobility Model à l'apparition de cette fenêtre. Une nouvelle fenêtre apparaît par la suite (voir la figure 4.12) sur laquelle nous allons définir la mappe réelle, notre modèle de mobilité.

Nous pouvons créer cette mappe sous MOVE de deux façons différentes : la première consiste à la création manuelle : MOVE donne la possibilité à son utilisateur de générer ou bien de dessiner d'une façon manuelle sa propre mappe, avec la création des deux fichiers. NODE et .EDGE. Ces deux fichiers nous les utiliserons dans la configuration de notre mappe. **Le résultat** sera un fichier XML .net qui va être importé pour la création de notre mappe comme un fichier XML .cfg.

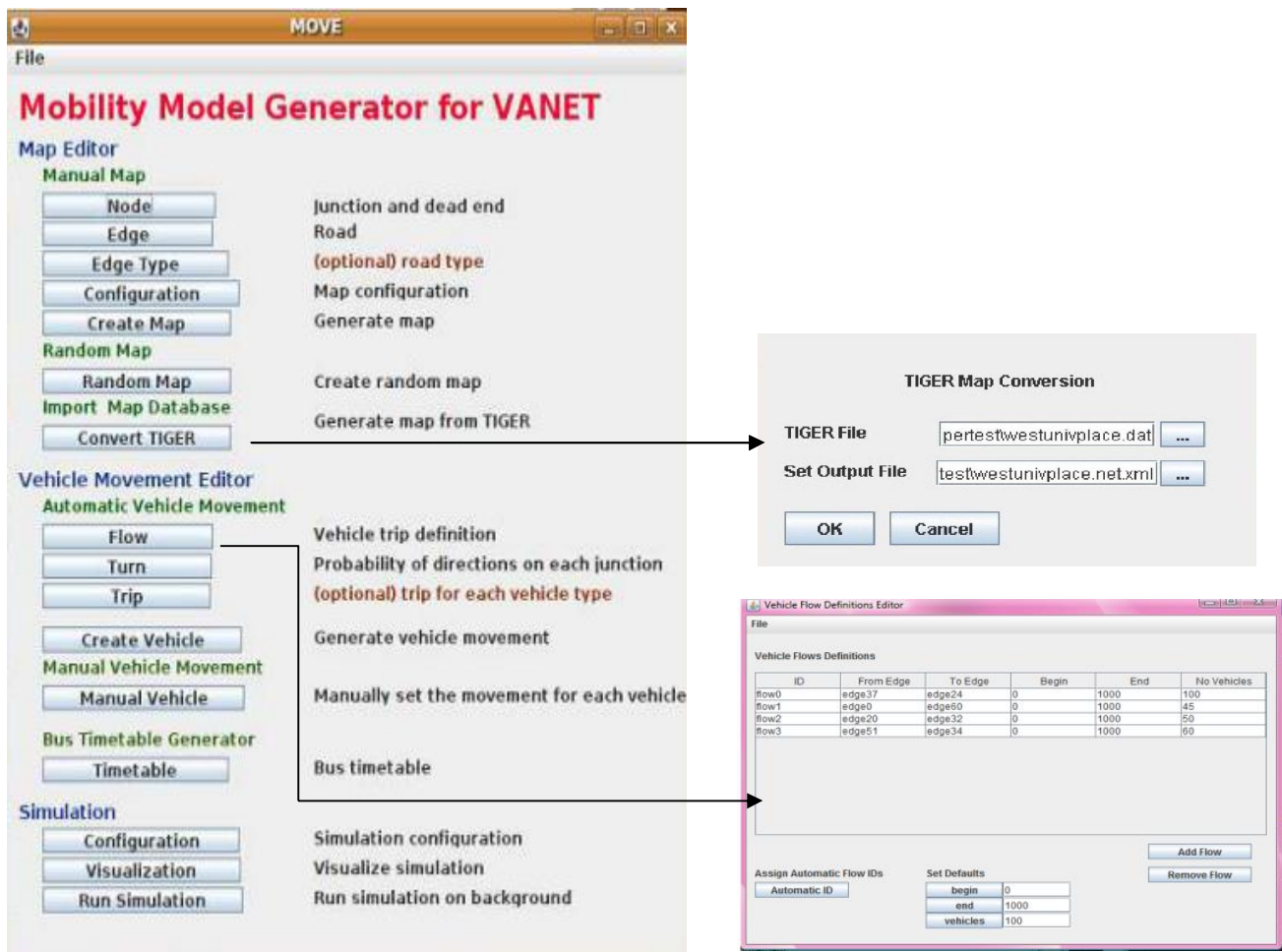


Figure 4.12 Le menu de la génération de mappe et mobilité

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

La deuxième manière consiste à importer une carte routière d'une façon automatique. Dans cette phase nous pouvons convertir le fichier importé de TIGER ou Google Earth dans MOVE. Choisir "Convertir Tigre" à partir du menu précédant (voir la figure 4.12). Choisir le fichier de tigre (<nom>.dat) ensuite, sélectionner le nom du fichier cible comme la figure 4.11 le montre.

TIGER File : le fichier TIGER importé en ligne. *Set Output File* : le fichier de sortie qui va porter l'extension XML .net. Cette méthode génère automatiquement le fichier .NODE et .EDGE. Il s'agira en fait d'avoir chaque point d'intersection ou extrémité d'une route que l'on voudra créer par la suite.

- 2. Simulation modèle de mobilité :** Le faite que la carte est converti à une carte MOVE, on la configure de l'éditeur par "Configuration" à partir du menu principal, on obtient cette fenêtre (voir la figure 4.13) :

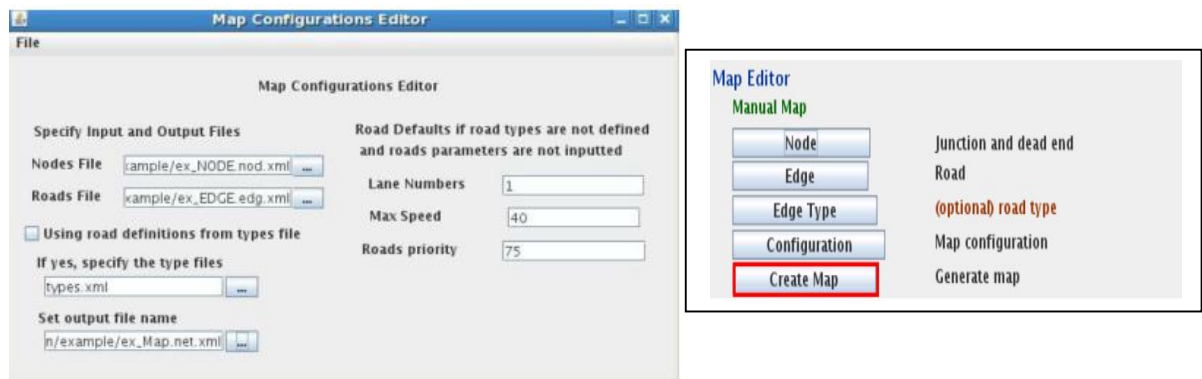


Figure 4.13 L'éditeur de la configuration de notre mappe

Nous spécifions en entrée les deux fichiers générés précédemment : le fichier NODE.xml et le fichier EDGE.xml. En sortie nous nommons cette mappe, ensuite nous enregistrons le fichier sous le nom ex_Map.netc.cfg. Pour la création de la mappe, on sélectionne "CreateMap" à partir du menu principal pour générer notre mappe. Il suffit de sélectionner le fichier enregistré précédemment .NETC (ex_Map.netc.cfg). Un fichier nommé ex_Map.net.xml sera généré automatiquement. Ceci est notre carte. nous visionnons notre mappe par l'outil SUMO comme la figure 4.14 l'indique :

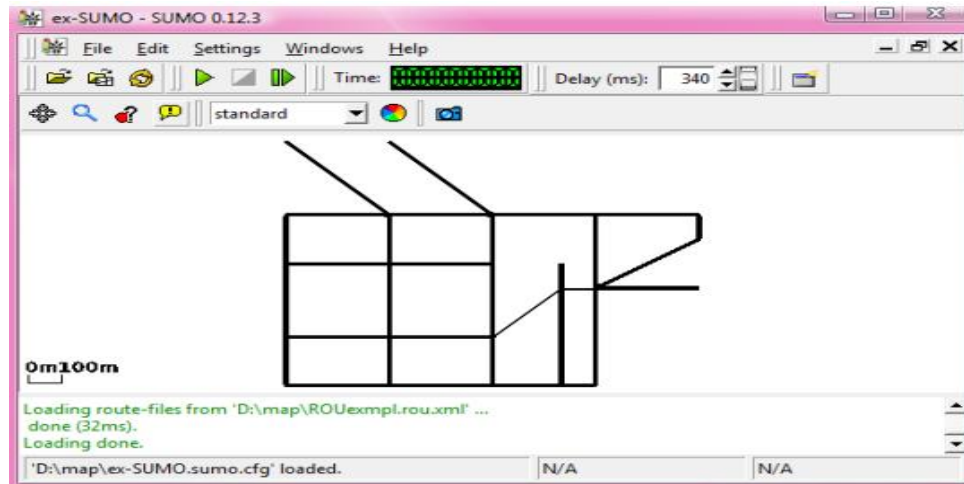


Figure 4.14 L'aperçu de notre mappe sous le simulateur SUMO

- 3. Simulation modèle du trafic:** Cette étape est consacrée pour créer les véhicules, définir les flux de trafic et les mouvements des véhicules, en d'autre terme définir le modèle de mobilité et de visualiser le trafic sur la mappe créée précédemment, Pour créer un flux de circulation automobile en prenant en considération le trafic sur la carte créée ci-dessus. Dans notre application il suffit de sélectionner "Flow" à partir du menu principal comme la figure 4.12 l'illustre. Cet éditeur va préciser les groupes de mouvements de véhicules sur la simulation de flux. Les mouvements des véhicules sont générés entre les deux bords déterminés. Pour générer le mouvement automatique de véhicules, nous définissons le déplacement du véhicule en tant que fichier. Flow.xml et les convenances de direction à chaque croisement comme un fichier. Il suffit de sélectionner "Créer des véhicules" à partir du menu principal (voir la figure 4.12). Il est plus simple de créer un nombre de véhicules au début de la simulation. nous Sélectionnons notre fichier de la carte précédemment créée ex_Map.net.xml. nous précisons la sortie c'est-à-dire l'emplacement du fichier nommé ex_ROU.rou.xml. Nous Réglons l'heure de début et de fin et la durée de la simulation. Le fichier sera automatiquement généré comme la figure suivante le montre (figure 4.15).

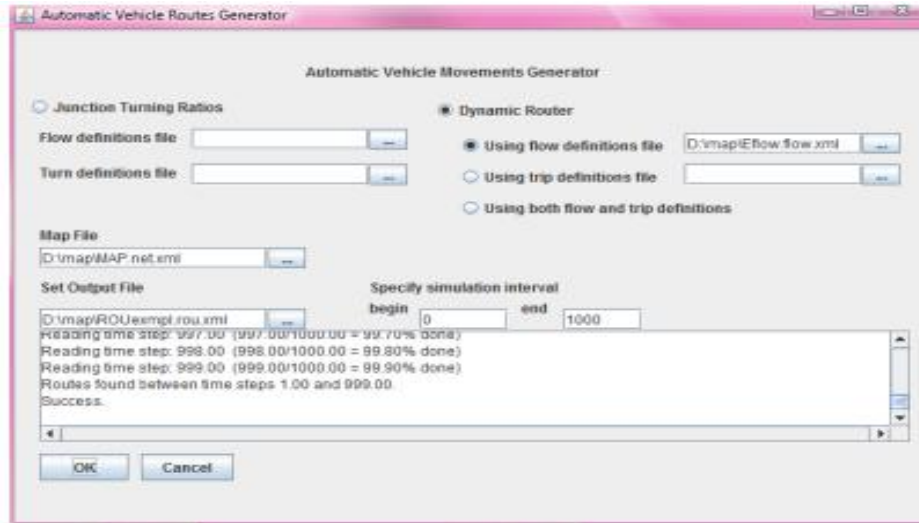


Figure 4.15 La création des véhicules

4. **simulation et configuration** : Après avoir générer la carte, les véhicules et les mouvements, nous allons spécifier les configurations de la simulation. Sélectionnez "Configuration" dans le bas du menu principal (voir la figure 4.11). L'emplacement des deux fichiers créés précédemment `ex_Map.net.xml` et `ex_ROU.rou.xml`, l'heure de début et de fin de la simulation doit être spécifiés. La case pour créer le fichier de trace doit être cochée, et le nom de sortie `ex_sumo.sumo.tr` doit être indiqué. Ensuite, enregistre le fichier en tant que `ex_SUMO.Sumo.cfg`. comme motionner dans la figure ci après (voir la figure 4.16) :

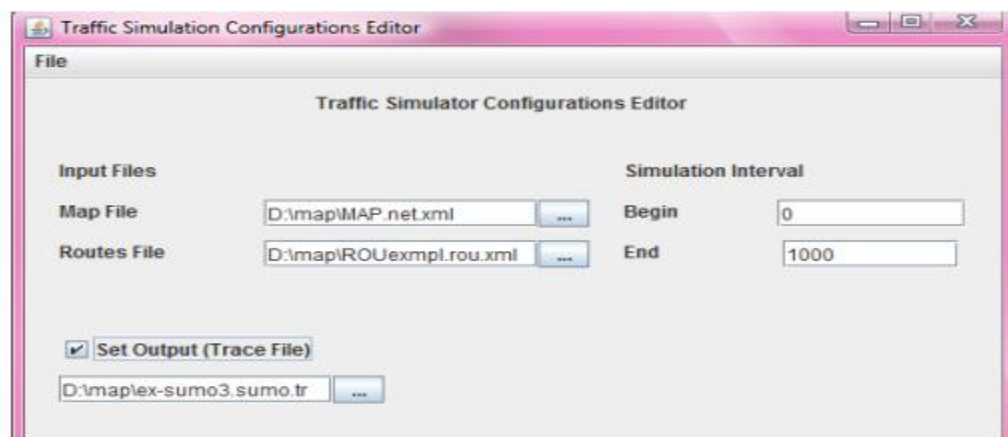


Figure 4.16 L'éditeur de la configuration de la simulation

Maintenant, pour voir les mouvements réels des véhicules sur le simulateur SUMO, comme la figure 4.17 le montre, nous allons sélectionner "Visualisation".

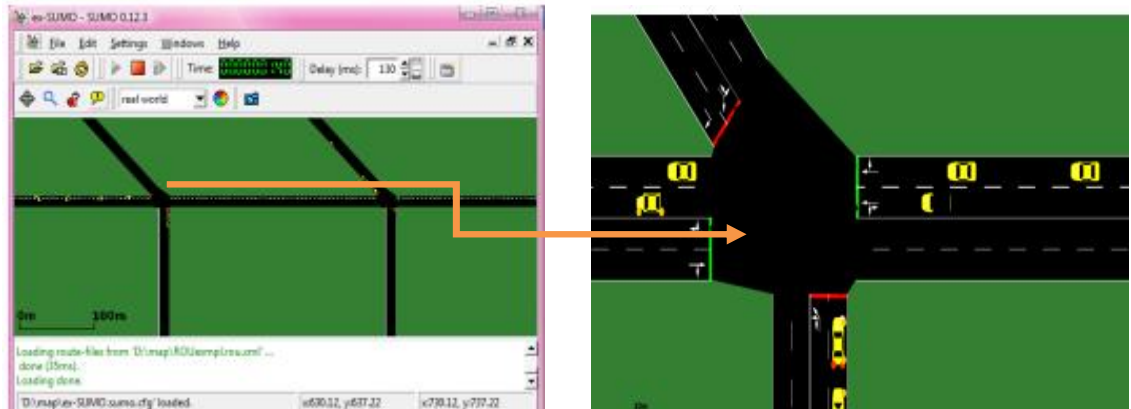


Figure 4.17 la visualisation d'une partie de la carte avec un aperçu sur le nœud 11

5. Le modèle trafic et réseau

Tout d'abord, nous allons sélectionner "Traffic Model" à partir l'emplacement du menu principal (voir la figure 4.11)

Le modèle de trafic et réseau peut être généré soit par le simulateur NS-2 ou le simulateur QualNet. Dans notre application, nous avons utilisé le simulateur NS-2. On Génère le modèle de trafic dans NS-2 avec la spécification des paramètres indiqués dans la figure 4.18.

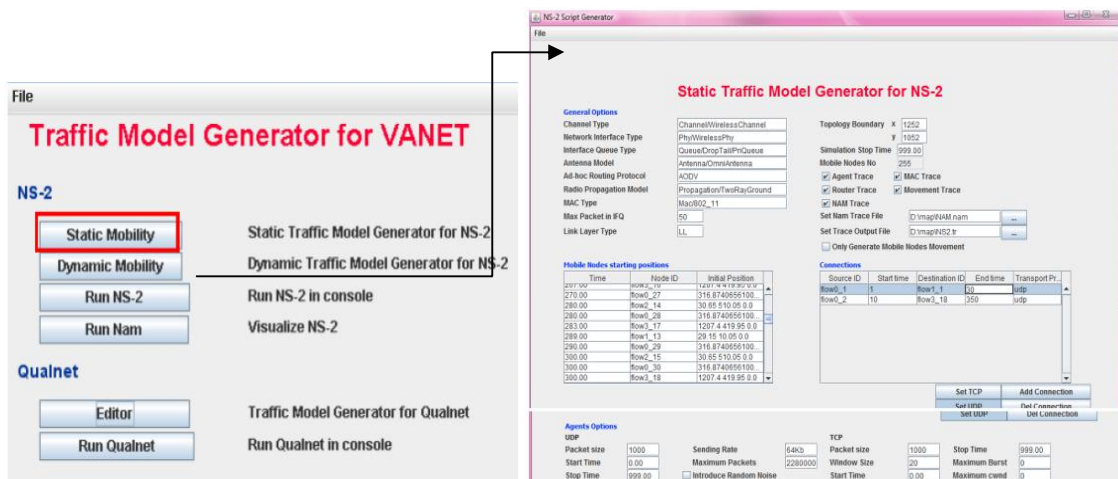


Figure 4.18 La génération de script TCL

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

En attendant le chargement du fichier (cela dépendra de la taille du fichier et la capacité de votre ordinateur). Après que le chargement soit effectué, nous spécifions les options de la simulation TCL. On choisit le fichier de type NAM trace et spécifiez l'emplacement du fichier. Puis on ajoute les connexions entre chaque nœud mobile spécifié dans la table du côté gauche et affectez le protocole de transport (par exemple, TCP / UDP). Dans la table « les nœuds mobiles à partir leurs positions", nous pouvons voir le temps différent, ID de nœud, et la position initiale. Puis nous allons enregistrer le fichier sous le nom `ex_NS2.tcl`. On sélectionne par la suite «run NS-2 » dans la console. On obtient le résultat suivant après avoir sélectionné le fichier `.tcl`. Enfin, la simulation sera lancée avec le fichier `ex_NS2.tcl`.

NAM est un outil d'animation basé sur Tcl / Tk pour l'affichage des traces de simulation de réseaux et de vraies traces de paquets de monde. Il prend en charge la disposition topologie, animation au niveau du paquet, et divers outils de contrôle des données. On peut faire appel au générateur de traces NAM partir du menu principal (voir la figure 4.18). Enfin on peut exécuter le fichier NAM et voir les mouvements réels des véhicules.

Dans notre cas d'étude, les tests à effectuer sont nombreux (selon le nombre de métriques à faire varier). Nous avons choisi les plus importants afin de montrer les performances des protocoles de routage AODV et DSDV dans les deux modes TCP et UDP dans un réseau VANET. Afin de choisir le protocole de transport (UDP, TCP), des pré-tests selon le taux de réception, le taux des pertes et le délai de bout en bout sont nécessaires. Donc pour chaque protocole de routage, nous allons choisir le protocole de transport qui donne le plus grand taux de réception, le taux des pertes, le délai de bout en bout. Avant de commencer les tests, nous allons présenter les scénarios de mouvement que nous avons utilisés (Tableau 4.1)

Tableau 4.1. : Des scénarios selon la mobilité des nœuds et la charge du réseau.

La charge du réseau	La mobilité	Le nombre de véhicules
Faible	Forte	5
Moyen	Moyenne	14
Chargé	Faible	35

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

Les graphiques ci-dessous (voir figure 4.19) montrent les performances des protocoles AODV et DSDV en mode TCP et UDP dans les trois scénarios discutés VANET ci dessus. Les graphiques globales sont établies sur la base de la suite des indicateurs de performance suivants: la bande passante, taux de réception, le taux des pertes et le délai de bout en bout.

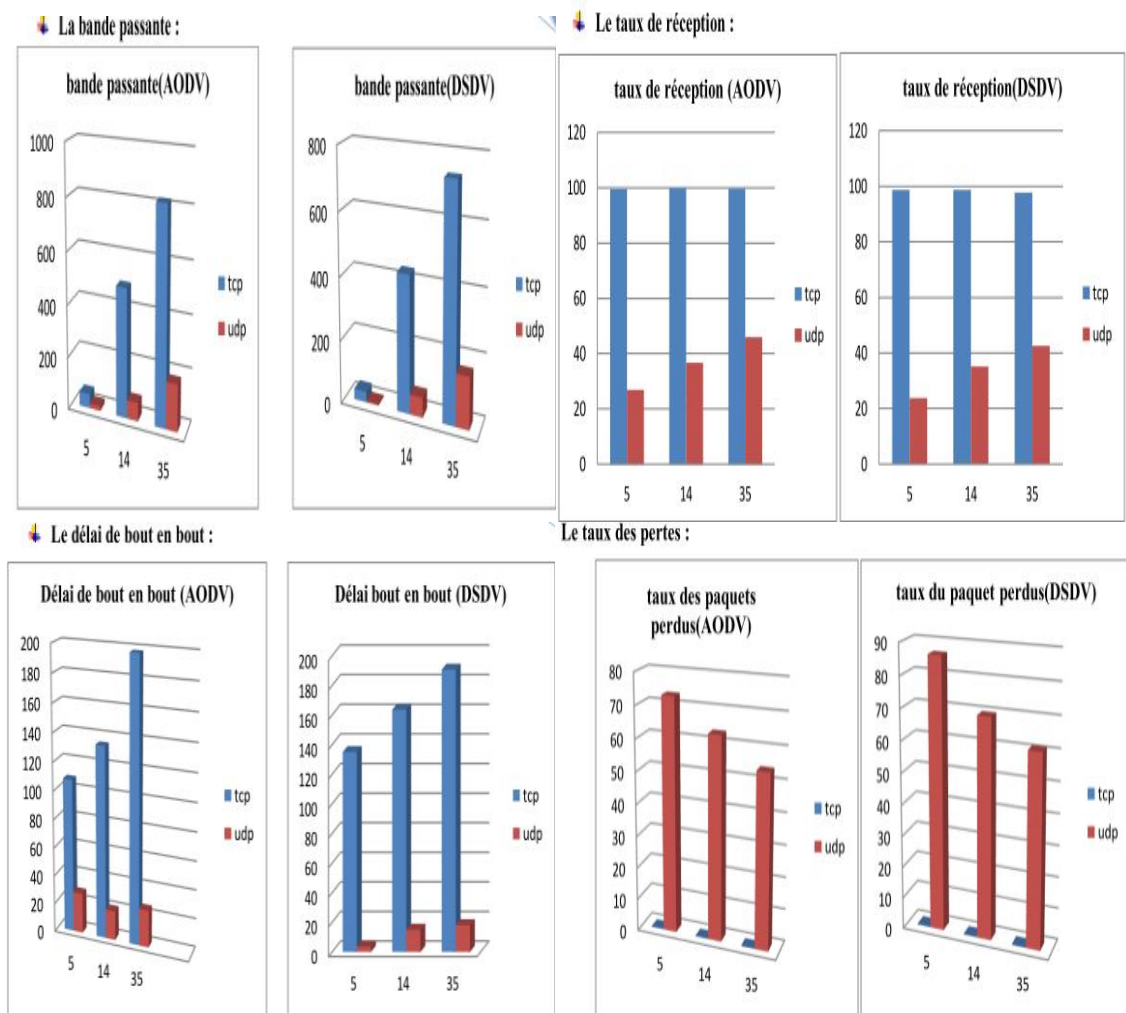


Figure 4.19. Les résultats de simulation

6. Discussion des résultats

La bande passante dans l'AODV mieux que DSDV avec la connexion TCP par rapport à UDP et elle soit optimale où la charge de réseau soit forte (35). Par conséquent, à chaque fois que le nombre des nœuds augmente la consommation de la bande

Chapitre 4 : Modélisation et la simulation des réseaux véhiculaires

passante augmente. Pour le taux de réception des paquets, nous constatons une légère différence entre les deux protocoles AODV et DSDV, et elle est optimale dans le scénario possédant une forte charge du réseau (35). La performance des deux protocoles est optimale dans le scénario du réseau chargé (35). Le taux de pertes des paquets dans les deux protocoles AODV et DSDV est moins avec l'utilisation de la connexion TCP. Ceci est dû de taux de réception le plus élevé avec la connexion TCP. Le délai de bout en bout dans le protocole DSDV est mieux par rapport au protocole AODV avec l'utilisation de la connexion UDP, le motif est que chaque nœud dans le protocole DSDV à une table de routage qui contient des chemins vers chaque nœud dans le réseau, par contre le protocole AODV cherche le chemin. Donc pour un réseau fiable, nous choisissons le protocole AODV avec protocole de transport TCP. Nous concluons que le protocole de transport TCP, s'est avéré plus fiable en termes de taux de réception, de perte et en consommation de la bande passante que UDP. Concernant les protocoles de routage, nous avons constaté que pour la majorité des cas le protocole AODV est plus performant et plus adéquat pour notre réseau dans les trois cas de mobilité.

4.7. Conclusion

Les problématiques propres aux réseaux de véhicules doivent être étudiées et évaluées par simulation, certaines solutions proposées doivent être révisées et adaptées aux particularités et contraintes de l'environnement. L'étude présentée dans ce chapitre a été focalisée sur la modélisation et la simulation des réseaux VANET, nous avons mis l'accent sur la simulation des modèles de mobilité, trafic et réseau. Pour obtenir des conclusions valides, notre premier objectif était la simulation d'un scénario réel à base d'un ensemble de simulateurs VANET que nous avons étudié. A la fin de ce chapitre nous avons simulé un scénario réel extrait de la ville d'Annaba avec des simulateurs appropriés mais en utilisant des modélisations et des solutions existantes, le chapitre prochain sera consacré à la modélisation et la conception de notre architecture de communication proposée.

Chapitre 5

Eléments de modélisation et
présentation de l'approche

FCAA

5.1. Introduction

Le domaine de notre travail est les réseaux VANET où l'entité physique dans ce cas là est un véhicule. Dans ce chapitre nous allons mettre l'accent sur la modélisation microscopiques .i.e. nous nous intéressons au véhicule lui même (sa cinématique : position, vitesse et direction). Nous allons commencer tout d'abord par un modèle basique qui possède juste deux roue c'est le type bicyclette pour qu'on le généralise ensuite à celui de type véhicule et qu'on l'applique plus tard dans l'architecture proposée.

Le contexte de cette architecture est basé sur la notion d'estimation, nous allons appliquer deux techniques d'estimation pour le modèle cinématique validé, qui sont le suivi des mouvements cinématique et la méthode de filtre de Kalman. Par ailleurs, nous introduisons le cadre général de notre architecture de communication principale. Techniques d'estimations et outils de simulations sont utilisés pour valider le modèle cinématique présenté, ainsi que son degré de réalisme. Dans le cadre de développement d'un système de communication et d'autre part les algorithmes de traitements proposés. Le système de communication proposé est basé sur des échanges de données entre véhicules (position, vitesse et direction).

La conception de la commande n'est possible que si toutes les variables d'état du système sont physiquement accessibles. Dans la réalité, ce n'est pas toujours vrai. Donc, il faut procéder à une reconstruction de l'état à partir des seules informations données par les capteurs, à savoir les mesures. Un bon environnement doit fournir le maximum de ces fonctions. D'autre part, ces paramètres ou variables cinématiques doivent être modélisées sous forme d'un modèle mathématique et la relation entre ces variables seront définies sous forme d'équations mathématiques. L'objectif global du modèle est de repérer le mouvement de véhicule ainsi que la reproduction de sa trajectoire estimée à partir du modèle d'équations (position latérale, position longitudinale, vitesse et direction). Par ailleurs nous avons besoin de valider par une simulation l'applicabilité du modèle mathématique sur VANET, en d'autres termes avant de l'appliquer sur l'ensemble des véhicules (scénario).

5.2. La modélisation cinématique

Les systèmes physiques peuvent être représentés, soit par un modèle cinématique, soit par un modèle dynamique, le premier considère seulement le mouvement appliqué au système, alors que le deuxième prend également en considération les forces des masses qui apparaissent dans le système [Maria & Marti., 2005]. Dans ce qui suit nous intéressons à la modélisation cinématique des paramètres d'un véhicule à savoir (la position, vitesse et direction), ce modèle cinématique peut être représenté selon le critère de temps en deux modèles : le modèle cinématique en temps continu ou le modèle cinématique en temps discret. Avant d'étudier le modèle cinématique de ce type de véhicule nous présenterons d'abord un modèle bicyclette qui est très similaire à celui de véhicule et sur lequel nous allons baser pour définir la modélisation cinématique de type véhicule.

5.2.1. Le modèle cinématique de type bicyclette

Un véhicule uni-cycle est actionné par deux roues indépendantes dont les anciens se servaient dans les combats, les jeux ou pour les défilés, ce genre de voiture possédant éventuellement un certain nombre de roues folles assurant sa stabilité. La figure 5.1 ci-dessous représente la modélisation cinématique de ce modèle, pour que les deux roues disposent d'une situation viable et n'entraîne pas de glissement sur le sol, il faut qu'elles soient en parallèles et non fixe. Dans ce cas, l'intersection des axes de rotation des différentes roues concourent vers un point unique où le véhicule tourne d'une façon instantané nommé le centre de rotation (CRI). Les roues motrices ayant même axe de rotation, le CIR du véhicule est un point de cet axe [Campion et al., 1996].

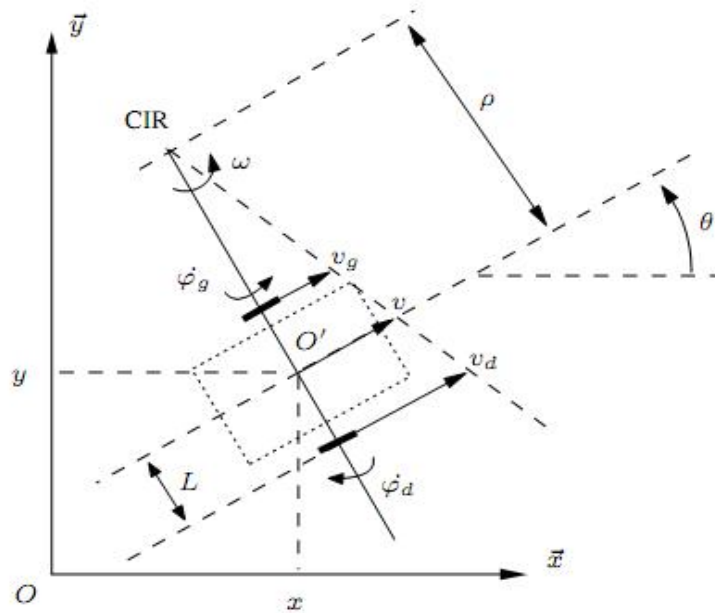


Figure 5.1 La modélisation cinématique d'un véhicule Uni-cycle [Bayle., 2011]

Soit ρ le rayon de courbure de la trajectoire du véhicule, c'est-à-dire la distance du CIR au point \acute{O} (voir Figure 5.1). Soit $2L$ l'essieu de véhicule (la distance entre les deux roues), r : est le rayon des deux roues (supposées identiques) et ω la vitesse de rotation du véhicule autour du CIR. Les vitesses angulaires des roues droite et gauche sont notées respectivement $\dot{\phi}_d$ et $\dot{\phi}_g$. Alors que les vitesses des roues droite et gauche, respectivement notées v_d et v_g sont définies comme suite :

$$v_d = -r\dot{\phi}_d = (\rho + L)\omega \quad (5.1)$$

$$v_g = r\dot{\phi}_g = (\rho - L)\omega$$

Ce qui permet de déterminer ρ et ω à partir des vitesses des roues :

$$\rho = L \frac{\dot{\phi}_d - \dot{\phi}_g}{\dot{\phi}_d + \dot{\phi}_g} \quad (5.2)$$

$$\omega = -\frac{r(\dot{\phi}_d + \dot{\phi}_g)}{2L}$$

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

Il y a en effet équivalence entre les deux représentations. D'une part, on a :

$$v = \frac{(vd + vg)}{2} = \frac{r(\dot{\phi}d - \dot{\phi}g)}{2} \quad (5.3)$$

D'autre part, la vitesse de rotation du véhicule est égale à la vitesse de rotation autour du CIR [Dudek&Jenkin., 2000].

$$\omega = \dot{\phi} = -\frac{r(\dot{\phi}d + \dot{\phi}g)}{2L} \quad (5.4)$$

$\dot{\phi}$: est le taux de lacet (la vitesse angulaire) du véhicule dans le plan x-y.

La forme discrète des équations ci-dessus est :

$$\begin{aligned} X_{k+1} &= X_k + V * \cos(\phi_{k+1}) \Delta T \\ Y_{k+1} &= Y_k + V * \sin(\phi_{k+1}) \Delta T \\ V_{k+1} &= V_k \\ \phi_{k+1} &= \phi_k + \dot{\phi}_k \Delta T \end{aligned} \quad (5.5)$$

La différence entre le type uni-cycle et voiture est facile à montrer. Il suffit pour cela de configurer deux roues qui transformeraient un véhicule de type bicyclette en type voiture de sorte que le CIR reste inchangée. Dans la suite nous allons se concentrer sur ce modèle pour y arriver à la modélisation cinématique de type véhicule. L'inconvénient de ce modèle est que l'équation de braquage de véhicule est liée à la vitesse de rotation (car nous avons juste deux roues) et pour remédier au problème on doit passer au modèle le plus réel, de type véhicule (quatre roues) où nous allons introduire le braquage de la roue aussi.

5.2.2. Le modèle cinématique de type véhicule

Comme l'existence d'un CIR unique impose que les axes des roues du véhicule soient concourantes. Dans le cas de type voiture, cela impose aux roues du train avant de n'avoir pas la même orientation, comme illustre à la figure 5.2. Le roulement idéal, assurant que le CIR est bien unique, est réalisé sur une voiture par un system de braquage différentiel, le CIR est à l'intersection du prolongement de l'axe de la roue arrière et de la perpendiculaire au plan de la roue avant tirée du centre de celle-ci (dit

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

d'Ackerman) [Gillespie., 1992]. Par ailleurs, les trajectoires des roues n'ayant pas même rayon de courbure, leurs vitesses sont également différentes (et liées évidemment).

Supposons que la configuration d'un véhicule mobile est représentée dans un repère fixe quelconque à deux dimensions $R(O, \vec{X}, \vec{Y})$ et un repère mobile lié au mouvement de véhicule noté par $R'(O', \vec{X}', \vec{Y}')$. On choisit généralement pour O' un point remarquable de la plate-forme, typiquement le centre de l'axe des roues motrices du véhicule, comme illustré dans la figure suivante. L'état du véhicule est définie sous un espace $M((x, y), (\vec{v}_1, \vec{v}_2), (\varphi, \alpha))$ Où (x, y) sont respectivement la position latérale et longitudinale de véhicule, (\vec{v}_1, \vec{v}_2) représentent la vitesse latérale et longitudinale respectivement, (φ°) est l'angle de braquage du véhicule par rapport au plan $R(O, \vec{X}, \vec{Y})$ et (α°) l'angle de braquage de la roue. par rapport au plan $R'(O', \vec{X}', \vec{Y}')$

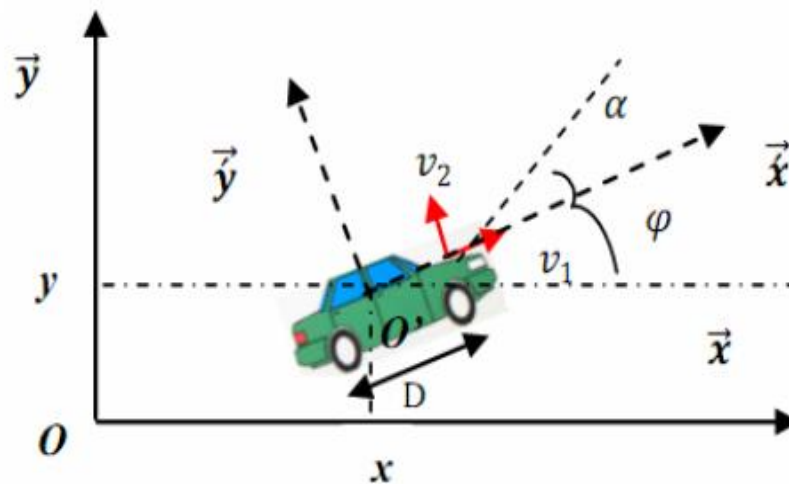


Figure 5.2 Présentation des paramètres cinématique d'un véhicule

Tableau 5.1 Identification des paramètres du véhicule

x	La position latérale du véhicule
y	La position longitudinale du véhicule
v_1	La vitesse longitudinale du véhicule
v_2	La vitesse latérale du véhicule
acc	The acceleration of the vehicle

φ	L'angle de direction de véhicule (heading angle)
α	L'angle de braquage de la roue (steering angle)
ω	La vitesse de rotation autour de point CRI
D	La distance entre les essieux de véhicule

En développant les composantes de cette vitesse sur les deux axes \vec{X}, \vec{Y} , on obtient une vitesse latérale et longitudinale noté v_1 et v_2 respectivement (voir l'équation 5.1). La vitesse latérale v_2 égale à zéro dues au contraintes non holonomes [Morin & Samson., 2003] (*roulement sans glissement*) et la vitesse longitudinale v_1 qui représente la vitesse de véhicule. Dans le reste du partie on la not v

$$\begin{cases} \dot{x} \cos \varphi + \dot{y} \sin \varphi = v_1 \\ -\dot{x} \sin \varphi + \dot{y} \cos \varphi = v_2 \\ \begin{cases} v_2 = 0 \\ v_1 = v \end{cases} \end{cases} \quad (5.6)$$

Premièrement nous considérons le modèle de véhicule représenté dans la figure 5.1. Ce véhicule est constitué de deux roues fixes de l'axe arrière et deux autres roues orientables placées sur l'axe longitudinal du véhicule. Nous avons choisi généralement pour la position de véhicule O un point significatif de la plateforme, typiquement le centre de l'essieu arrière. Le centre instantané de rotation (CRI) se situe à la rencontre des axes des roues fixes et de l'axe des roues orientable, comme cela est représenté à la figure suivante (Figure 5.3). x et y donnent la position du centre de l'essieu arrière, φ donne l'angle que fait le corps du véhicule par rapport à l'axe horizontal x , α est l'angle de direction (angle de braquage des roues orientables par rapport au ceps du véhicule), Le mouvement est conféré au véhicule par deux actions: la vitesse longitudinale v_1 et l'orientation de la roue orientable ω [Bayle., 2011]. D'autre part, la vitesse de rotation du véhicule est égale à la vitesse de rotation autour de point CIR. On peut déterminer ρ d'une méthode géométrique à partir de l'angle d'orientation de la roue avant et ω à partir de la vitesse linéaire v du véhicule (vitesse en $0'$) et de ρ :

$$\begin{cases} \omega = \frac{v}{D} \tan \alpha \\ \rho = D / \tan \alpha \\ \dot{\phi} = \omega \end{cases} \quad (5.7)$$

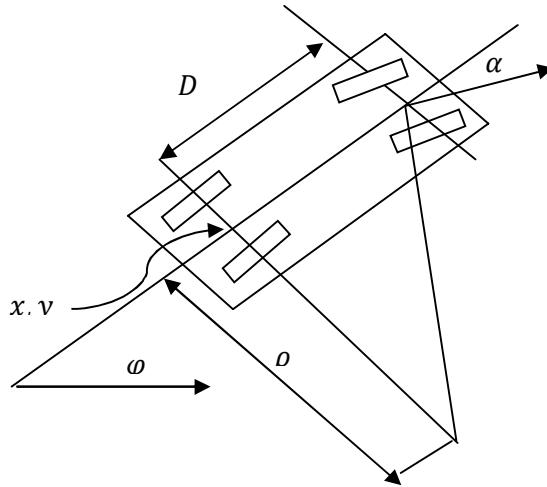


Figure 5.3 La modélisation cinématique de type véhicule

Ce type de véhicule peut se diriger en ligne droite pour $\alpha=0$ et théoriquement tourner autour du point O' (on pourrait dire sur place) pour $\alpha = \pi/2$. Néanmoins, le rayon de braquage de la roue orientable, généralement limitée, impose le plus souvent des valeurs de telles que $-\pi/2 < \alpha < \pi/2$, interdisant cette rotation du véhicule sur lui-même [Abohadrous., 2005]. Le modèle cinématique peut s'écrire sous la forme suivante :

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{v} \\ \dot{\phi} \\ \dot{\alpha} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi \\ \sin \varphi \\ 0 \\ \tan \alpha / D \\ 0 \end{pmatrix} v_1 + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} v_2 \quad (5.8)$$

Ces équations sont inspirées du modèle cinématique montré à la figure 5.2, avec un raisonnement géométrique simple. Nous établissons les équations de la cinématique de ce modèle, x et y sont les estimations de position latérale et longitudinale du véhicule respectivement, v est la vitesse du véhicule. Toutefois, par un simple raisonnement géométrique, on établit les équations cinématiques de ce modèle en temps continu :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x} = v(t)\cos\varphi(t) \\ \dot{y} = v(t)\sin\varphi(t) \\ \dot{\varphi} = v(t)\frac{\tan\alpha(t)}{D} \\ \dot{v} = \begin{cases} 0, & \text{if } v \text{ est constante} \\ acc, & \text{if } v \text{ est variable} \end{cases} \\ \dot{\alpha} = \begin{cases} 0, & \text{if } v_2 = 0 \\ \eta, & \text{if } v_2 \neq 0 \end{cases} \end{array} \right. \quad (5.9)$$

η : représente la vitesse d'orientation imposée à la roue orientable

La forme discrète des équations ci-dessus est :

$$\left\{ \begin{array}{l} x_{k+1} = x_k + v_k \cos(\varphi_k) T \\ y_{k+1} = y_k + v_k \sin(\varphi_k) T \\ \varphi_{k+1} = \varphi_k + v_k \frac{\tan\alpha}{D} T \\ \begin{cases} v_{k+1} = v_k; & \text{invariable} \\ v_{k+1} = v_k + accT; & \text{variable} \end{cases} \\ \begin{cases} \alpha_{k+1} = \alpha_k; & \text{invariable} \\ \alpha_{k+1} = \alpha_k + \eta T; & \text{variable} \end{cases} \end{array} \right. \quad (5.10)$$

5.2.3. Validation du modèle cinématique par simulation

Dans cette section, nous présentons les premiers résultats de simulation, ces résultats valident les équations de modèles cinématiques présentées précédemment dans le temps discret (voir l'équation 5.10), nous avons travaillé le cas où la vitesse et l'angle de braquage de la roue ne sont pas variables. Notre but principal de cette simulation est de vérifier le degré de réalisme et la précision de ce modèle dans le suivi des mouvements du véhicule pour la génération de trajectoire estimée, et de voir aussi la crédibilité de système pour toute autre utilisation future.

Le modèle cinématique choisi pour la simulation est de type véhicule parce que notre application proposée sera appliquée sur un réseau VANET, ainsi le nœud de test sera un véhicule mobile. Pour ce faire nous avons joué sur les paramètres de direction : l'angle de braquage du véhicule et l'angle de braquage de la roue, et même pour voir réellement l'exactitude de cette modélisation, nous avons procédé aux cas critiques, comme exemple si nous initialisons notre modèle du départ sur un angle de braquage de véhicule

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

$\varphi = 0$ et un angle de braquage de la roue $\alpha = 0$, logiquement dans les prochains pas, le mouvement du véhicule suit la même ligne et dans le même sens. Par la suite nous vérifions notre modèle avec un ensemble de cas critiques :

Si $\alpha = 0$ c.à.d. Le véhicule se dirige en ligne droite (il n'y a pas de braquage de la roue) et l'angle qui fait le véhicule par rapport au sol reste le même .i.e. $\varphi_{k+1} = \varphi_k$. L'équation de φ dépend de l'angle α

$$\varphi = \begin{cases} \text{constante, if } \alpha = 0 \\ \text{Variable, if } \alpha \neq 0 \end{cases} \text{ i.e. si } \alpha = 0 \text{ alors } \varphi \rightarrow \text{cste} \text{ sinon } \varphi \rightarrow \text{variable.}$$

Au début nous traitons le cas où l'angle de braquage $\alpha = 0$, selon la valeur donnée au φ , on distingue cinq cas critiques :

Cas 1 : si $\alpha = 0$ et $\varphi = 0$ c.à.d. le véhicule se dirige en ligne droite vers le sens positif de X comme la figure suivante l'illustre :

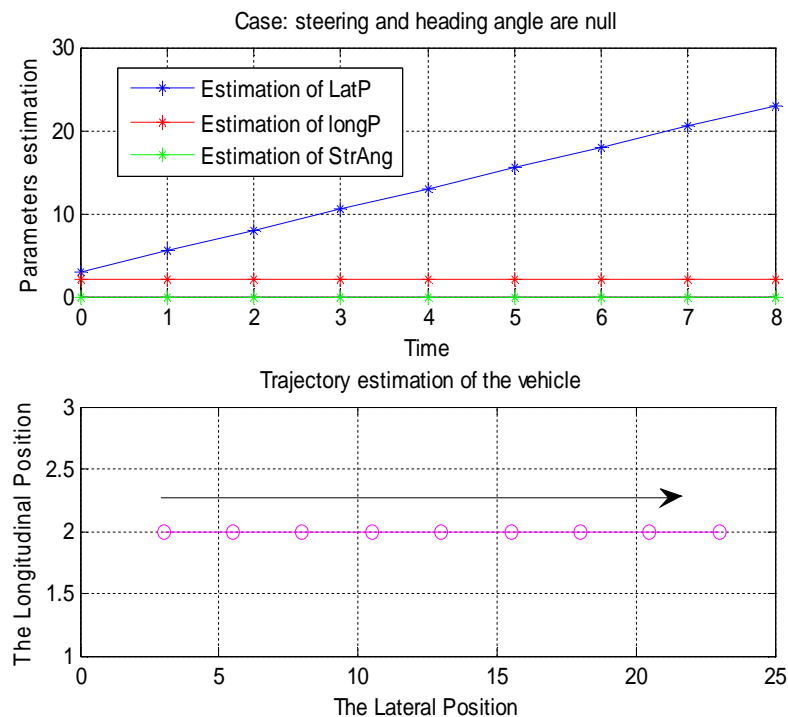


Figure 5.4 Le mouvement de véhicule dans le cas $\alpha = 0$ et $\varphi = 0$

Cas 2 : $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/2$: Le véhicule se dirige en ligne droite vers le sens positif de Y

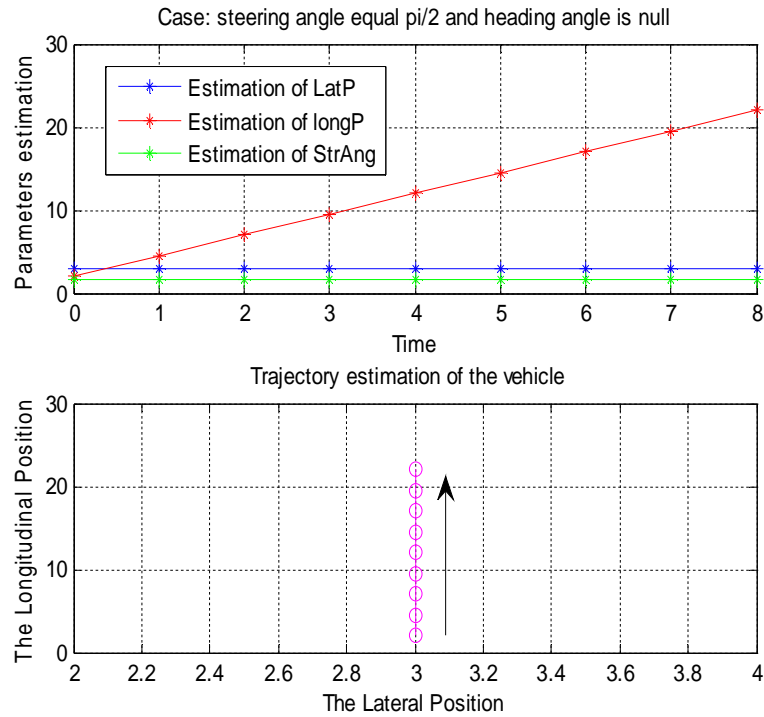


Figure 5.5 Le mouvement de véhicule dans le cas $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/2$

Cas3: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi$

Comme $\alpha = 0$ i.e. il n'y a pas de braquage de la roue et pour l'angle φ le véhicule est initialisé à π i.e. le corps de véhicule est sur l'axe des X mais son avant vers le sens négatif de l'axe X, automatiquement après un certain temps le véhicule continue à se déplacer dans la ligne droite vers le sens négative de l'axe X et effectivement c'est ce que le résultat de la simulation donne et la figure suivante l'illustre :

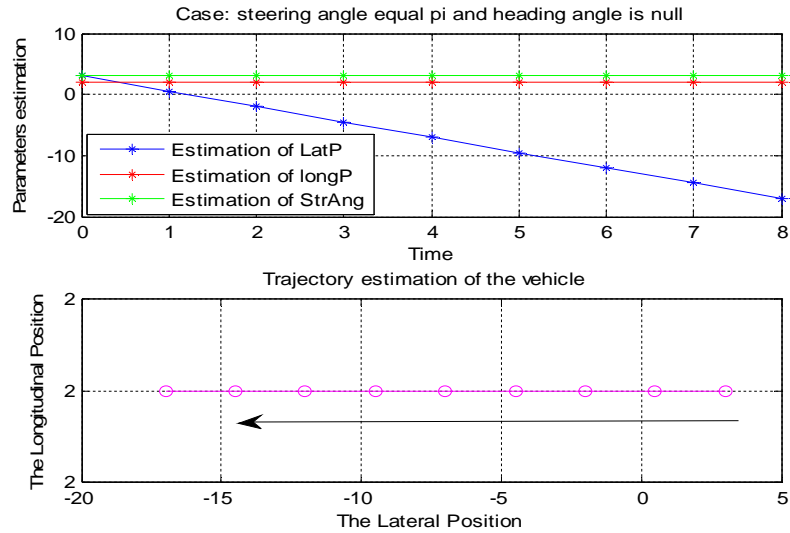


Figure 5.6 La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi$.

Cas 4 : $\alpha = 0$ et $\varphi = -\pi/2$

$\alpha = 0$ i.e. il n'y a pas de braquage de la roue et pour l'angle φ le véhicule est initialisé à $\pi/2$ i.e. le corps de véhicule est sur l'axe des Y mais son avant vers le sens négative de l'axe Y (en bas), automatiquement après un certain temps le véhicule continue à se déplacer dans la ligne droite vers le sens négative de l'axe Y et effectivement c'est ce que le résultat de la simulation donne et la figure suivante illustre :

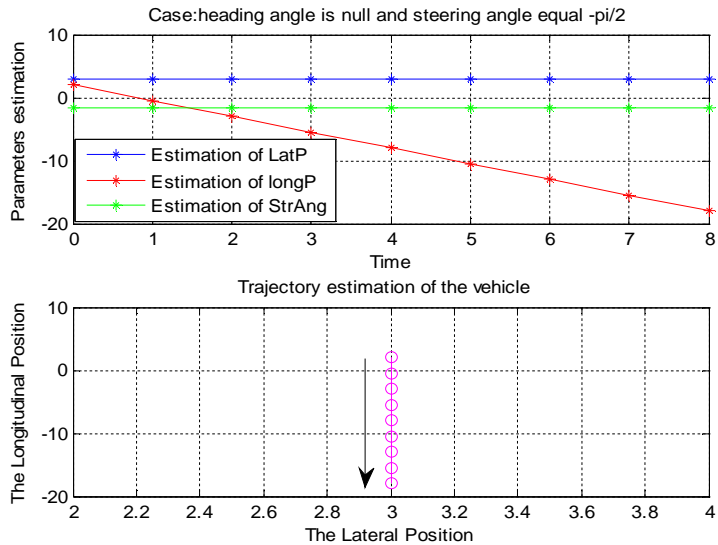


Figure 5.7 La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = -\pi/2$.

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

Case 5: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/5$

$\alpha=0$ i.e. il n'y a pas de braquage de la roue et pour l'angle φ le véhicule est initialisé à $\pi/5$.i.e. le corps de véhicule fait un angle de 36° par rapport à l'axe des X, automatiquement après un certain temps le véhicule continue à se déplacer dans une ligne droite avec un braquage fixe de $\varphi=36^\circ$. Effectivement c'est ce que le résultat de la simulation donne et la figure suivante illustre :

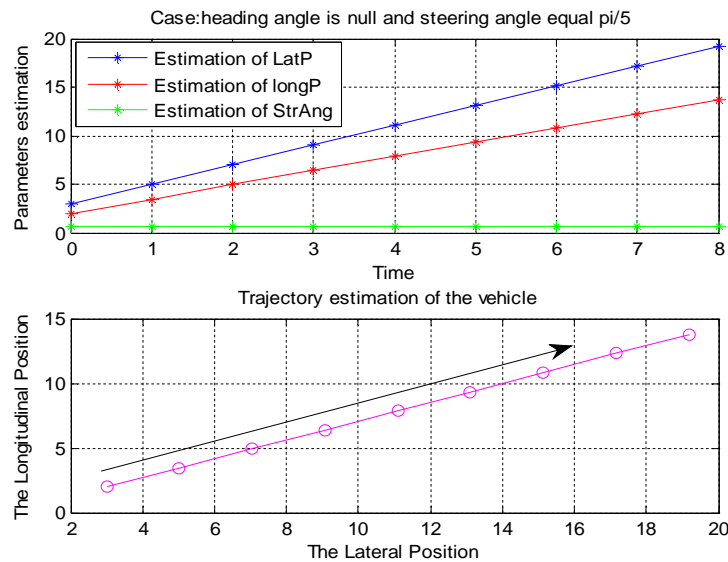


Figure 5.8 La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = 0$ et $\varphi = \pi/5$

Comme conclusion préliminaire nous pouvons dire que le modèle d'équations est réel dans tout les cas critique où l'angle de braquage de la roue est nul. Les figures des résultats de simulations précédents montrent que le corps du véhicule par rapport à son état de départ est le même i.e. l'angle de braquage de véhicule φ est constant tant que le braquage de la roue est nul. Dans ce qui suite nous vérifions aussi le cas où l'angle α n'est pas nul et dans ce cas là l'angle φ sera automatiquement variable en fonction du braquage de la roue.

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

Case 1: $X=0, Y=0, \alpha=\pi/20, \varphi=0$ et $v=25$

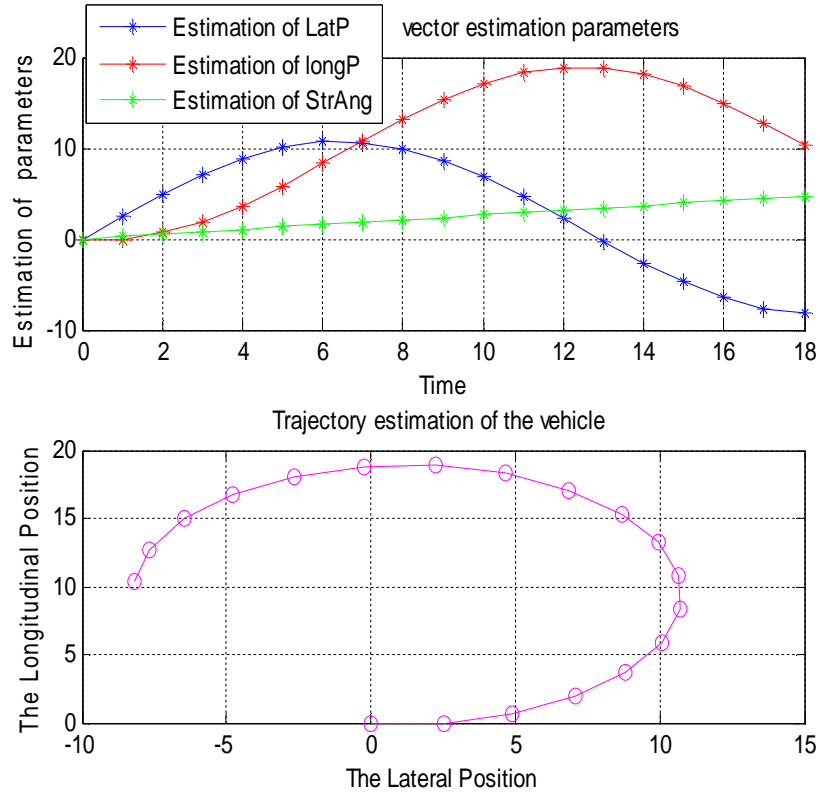


Figure 5.9 La trajectoire du véhicule simulée dans le cas: $\alpha = \pi/20$ et $\varphi = 0$

La figure 5.6 montre le résultat de la simulation du modèle cinématique dans le cas où l'angle α n'est pas nul mais il est initialisé à un braquage constant qu'est égale à $\pi/20$. La combinaison de la position latérale et longitudinale trace la trajectoire du véhicule comme la figure ci-dessus le montre.

La simulation est échantillonnée sur Dix-huit pas, pour juger mieux le réalisme de cette simulation nous allons comparer la valeur de φ à l'état de véhicule dans la figure, initialement $\varphi = 0$ et ce que le véhicule montre sur la figure, il se dirige vers le sens positif de l'axe des X, ensuite le septième pas donne $\varphi = 1.5838 = \pi/2$ et ce que le véhicule montre sur la figure, il se dirige vers le sens positif de l'axe des Y. et enfin le dix-huitième pas sur la figure le véhicule fait un angle de $\pi/2$ par rapport à l'axe X et quand nous avons récupéré la valeur de simulation de φ , nous avons trouvé une valeur égale à $1.58 = \pi/2$.

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

Comme conclusion finale, le modèle d'équation présenté dans la section est validé pour définir les déplacements du véhicule ainsi que l'applicabilité de ce modèle sur un scénario VANET.

5.3. L'estimation de la trajectoire du véhicule

Dans cette section, nous présentons deux approches probabilistes pour le suivi et l'estimation de la trajectoire d'un véhicule à quatre roues. La première approche est basée sur le modèle cinématique présenté dans la section 5.2.2, et la deuxième est basée sur la méthode du filtre de Kalman. L'approche la plus populaire est l'estimation par la méthode du filtre de Kalman.

5.3.1. Utilisation de la modélisation cinématique (MMC)

Cette approche est basée sur la notion de suivi, en d'autres termes il faut être capable de suivre les caractéristiques de véhicules sur une séquence de temps (1...T). Pour modéliser le problème de suivi, deux types de variables aléatoires sont nécessaires à la structure du graphe. La première représente l'état du système qu'on appelle X, l'état de véhicule suivi dans la scène observée est alors décrit par un jeu de paramètres, ces paramètres peuvent être la position, la vitesse, etc. La seconde variable aléatoire représente les observations qu'on appelle Z. Le vecteur X est alors notre inconnue, et les observations ce qu'on connaît [Goyat., 2008].

Les caractéristiques d'un véhicule au temps t, sont données par X_t et les observations correspondantes par Z_t , l'état de véhicule X_t dépend de l'état précédent X_{t-1} ce qui veut dire qu'à tout moment, l'état du véhicule dépend de son état précédent, l'idée est d'estimer l'état courant du système X connaissant toutes les observations précédentes.

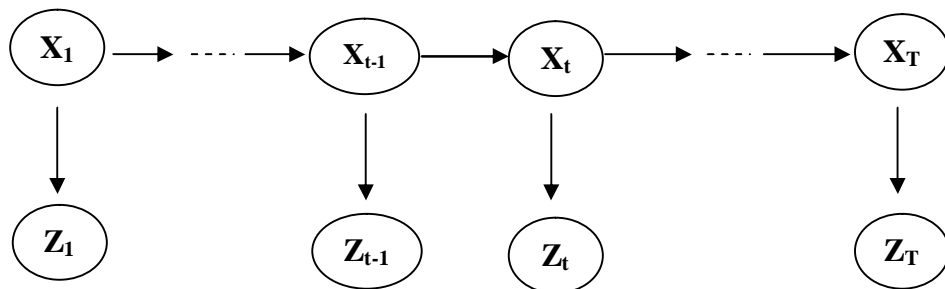


Figure 5.10 la représentation de systèmes d'état et les observations [Goyat., 2008].

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

Le vecteur d'état définissant les caractéristiques de la trajectoire à suivre doit intégrer les contraintes liées à la cinématique du véhicule. Nous proposons d'utiliser le modèle de type véhicule présenté dans la section 5.2.2 et de rendre compte de nombreuses propriétés du comportement et de la stabilité. Les hypothèses de ce modèle sont les suivantes [Goyat., 2008]:

- ❖ pas de transfert de charge, ni latéral, ni longitudinal,
- ❖ pas de mouvement de roulis ou de tangage,
- ❖ pneus en régime linéaire,
- ❖ pas d'effets aérodynamiques,
- ❖ contrôle en position,
- ❖ pas d'effet de souplesse de la suspension et du châssis.
- ❖ roulement sans glissement et sans dérive,
- ❖ pour que les pneus ne glissent pas latéralement, il faut que le centre instantané de rotation (CIR) de chaque pneu soit au centre du virage.

Le vecteur d'état du système est alors : $X_t = (x_t, y_t, v_t, \varphi_t, \alpha_t)^t$

Le modèle cinématique de type véhicule appliqué une fois à chaque instant évolue donc non linéairement de la manière suivante :

$$\begin{aligned}x_t &= x_{t-1} + v_{t-1} \cos(\varphi_{t-1}) T \\y_t &= y_{t-1} + v_{t-1} \sin(\varphi_{t-1}) T \\v_t &= v_{t-1} + acc T \\ \varphi_t &= \varphi_{t-1} + v_{t-1} \frac{\tan \alpha}{D} T \\ \alpha_t &= \alpha_{t-1} + \eta T\end{aligned} \tag{5.11}$$

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

La simulation de ce modèle génère la trajectoire estimée comme la figure ci-après la montre

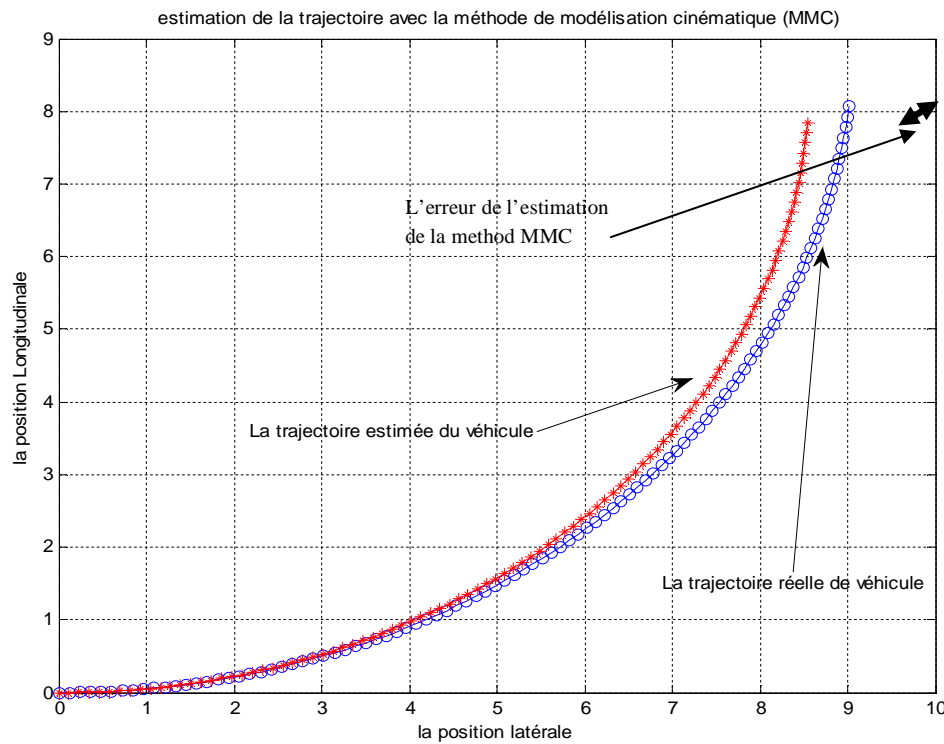


Figure 5.11 L'estimation de la trajectoire de véhicule par le modèle cinématique

5.3.2 Utilisation de la modélisation par filtre de Kalman (MMK)

L'estimation de l'état futur est modélisée à l'aide de la méthode de filtre de Kalman pour faire sortir les estimations des paramètres du véhicule (position, vitesse, angle de braquage). Dans ce qui suit nous allons donner le principe de cette méthode :

Chaque modèle d'un système à une représentation qui s'appelle la représentation d'états, le modèle d'état suivant appelé le modèle de kalman peut être représenté en mode continu ou discret. Un Filtre de Kalman est un système dynamique à deux entrées vectorielles : la commande déterministe μ et la mesure y . La représentation dans le cas continu est comme suit :

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B\mu(t) + \omega \quad (\text{L'équation d'état})$$

$$Y(t) = Cx(t) + D\mu(t) + v \quad (\text{L'équation des mesures})$$

$x(t)$: est le vecteur d'état du système.

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

$Y(t)$: est le vecteur des mesures.

$\mu(t)$: est le vecteur des entrées déterministes est connues (commandes...).

ω et v : sont les bruits qui viennent perturber ou polluer le système et les mesures respectivement [Mokhtari., 2000].

La représentation du modèle dans le cas discret

$$\begin{aligned} x[k+1] &= Ax[k] + B\mu[k] + \omega \\ y[k] &= Cx[k] + D\mu[k] + v \end{aligned} \quad (5.12)$$

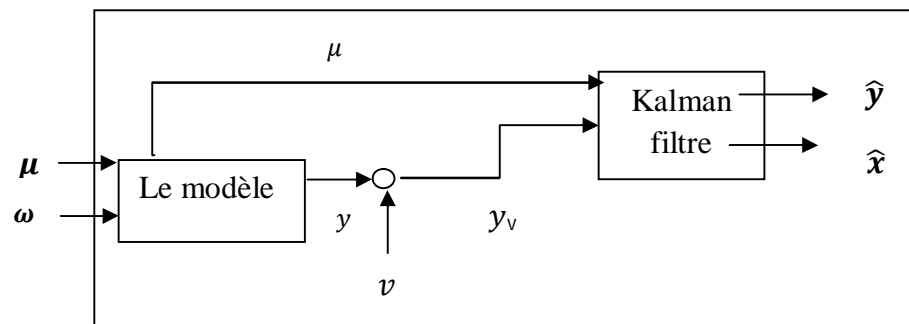


Figure 5.12 Principe de la méthode de filtre de kalman [Mokhtari., 2000]

Si l'on considère que la configuration (réduite) $q(x, y, \alpha, \varphi)$ fait office de variable d'état du système ; nous avons alors :

$\dot{x} = \mathbf{B}(x)\mu$ avec $\mathbf{B}(x)$ de dimension $n \times m$. Il s'agit d'une représentation non linéaire sans terme de dérive, en comparaison de la représentation d'état classique d'un système linéaire invariant $\dot{x} = \mathbf{A}x + \mathbf{B}\mu$

Les équations d'état de type véhicule sont non linéaire et de forme particulière. L'état X du véhicule est représenté par sa configuration q défini précédemment, généralement limitée au strict minimum (configuration réduite, sans les angles de rotation des roues). L'évolution de l'état est donnée par le modèle cinématique. Le vecteur de sortie comprenant l'ensemble des mesures effectuées à l'aide des différents capteurs est généralement d'une dimension supérieure à celle de l'état. Le système étant non linéaire, alors nous devons utiliser le filtrage de Kalman étendu (KFE) [Abuhadrous., 2005].

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

L'implémentation du FKE impose que la représentation d'état continue issue du modèle cinématique soit mise sous forme discrète et prenne en compte les bruits affectant les équations d'état et de mesure. Par hypothèse du filtre de Kalman, il s'agit de bruits blancs, à distribution gaussienne. On note T , la période d'échantillonnage et $\mathbf{X}(k), \mathbf{u}(k)$ et $\mathbf{y}(k)$ respectivement l'état, la commande et la mesure à l'instant t . Les bruits sur l'équation d'état et sur l'équation de mesure sont respectivement notés $\mathbf{W}(k)$ et $\mathbf{V}(k)$. Le bruit d'état est pondéré par une matrice de gain $\mathbf{G}(k)$. Les matrices de covariance des bruits $W(k)$ et $V(k)$ sont respectivement notées $Q(k)$ et $R(k)$. Alors, la représentation d'état s'écrit [Bayle., 2011]. :

$$\begin{aligned}\mathbf{x}(k+1) &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) + \mathbf{G}(k)\mathbf{W}(k) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{h}(\mathbf{x}(k)) + \mathbf{V}(k),\end{aligned}\quad (5.13)$$

u $f(x(k), u(k))$ et $h(x(k))$ se déduisent du modèle continu. Pour ce véhicule, l'état instant k est donné

L'état du véhicule à l'instant k est donné par

$$\mathbf{X}(k) = \begin{pmatrix} x(k) \\ y(k) \\ v(k) \\ \varphi(k) \\ \alpha(k) \end{pmatrix} \quad (5.14)$$

D'après le modèle cinématique on peut déduire le format discret de modèle d'état de notre système

$$\mathbf{X}(k+1) = \begin{pmatrix} x(k) + v(k)T \cos(\varphi(k)) \\ y(k) + v(k)T \sin(\varphi(k)) \\ v(k) \\ \varphi(k) + v(k)T \frac{\tan \alpha}{D} \\ \alpha(k) \end{pmatrix} + \mathbf{G}(k)\mathbf{W}(k) \quad (5.15)$$

L'équation de mesure dépend quant à elle du choix des capteurs. On suppose que d'une part on dispose de la posture estimée par l'odométrie, et d'autre part de braquage de rotation de la roue

$$Y(k) = \begin{pmatrix} x(k) \\ y(k) \\ v(k) \\ \varphi(k) \\ \alpha(k) \end{pmatrix} + V(k) \quad (5.16)$$

Algorithme du filtrage de Kalman étendu. Pour implémenter un FKE, il faut linéariser les termes non linéaires de l'équation d'état autour de l'estimée $\hat{x}(k)$ et donc calculer les matrices jacobéennes des fonctions f et h , notées respectivement $\nabla f_x(k) = \nabla f_x \hat{x}(k)$ et $\nabla h_x(k) = \nabla h_x \hat{x}(k|k-1)$. On peut ensuite appliquer la méthode de filtrage de Kalman classique en utilisant les éléments ainsi linéarisés [Bristeau., 2011] :

1. Initialisation : la première prédiction est choisie égale à l'état à l'instant initial $\hat{x}(0|0) = x(0)$
2. Pour $k > 0$, on estime l'état à l'aide de l'équation d'état et on évalue la matrice de covariance (étape de prédiction) :

$$\begin{aligned} \hat{x}(k+1|k) &= f_x(\hat{x}(k|k), \mu(k)), \\ P(k+1|k) &= \nabla f_x(k) P(k|k) \nabla f_x^T(k) + G(k) Q(k) G^T(k) \end{aligned} \quad (5.17)$$

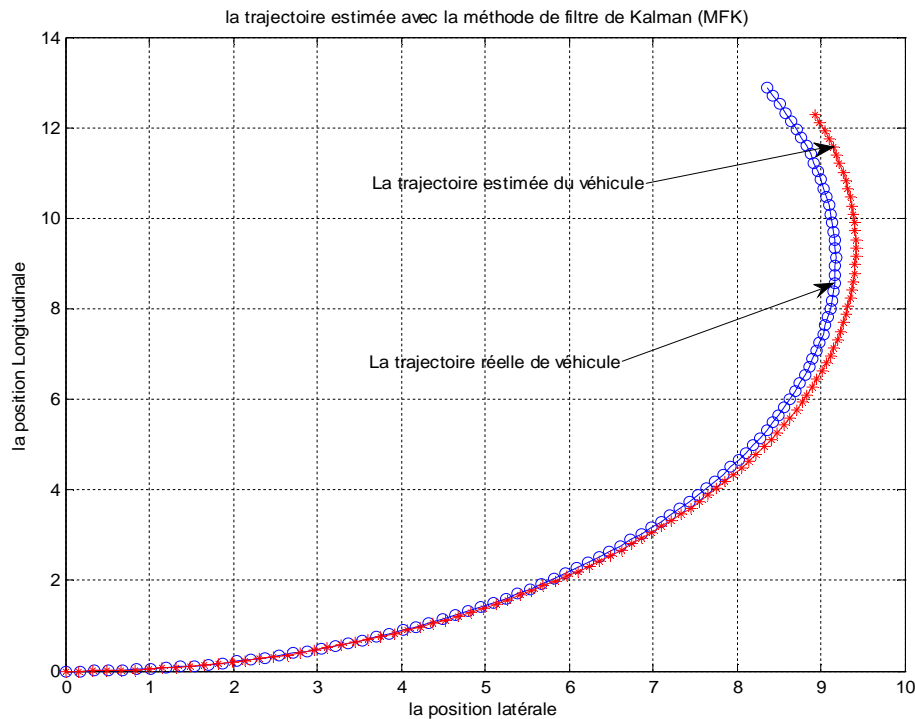


Figure 5.13 L'estimation de la trajectoire de véhicule par La méthode de FKE

5.4. L'architecture proposée pour un réseau de communication VANET

Un réseau véhiculaire se compose de véhicules et les entités avec lesquelles les véhicules peuvent établir des communications, ces communications peuvent être entre les véhicules mêmes, entre véhicules et l'infrastructure ou par l'hybridation des deux modes. Notre système d'évitement de collision proposé nécessite des communications sensibles avec un temps de latence très petit, Par conséquent le choix d'une architecture réseau V2I n'est pas approprié. Pour cette raison nous avons choisi la communication V2V pour notre approche proposée.

Supposons un réseau de communication VANET composé de deux ensembles de N véhicules. Le premier ensemble contient juste un seul véhicule qu'est le véhicule en question (**SV : Subject Vehicle**) i.e. celui qui va exécuter l'approche proposée en lui embarquant les moyens d'estimations, de communications et de perceptions nécessaires, les $N-1$ véhicules ou bien les véhicules voisins (**OV : Other Vehicls**) constituent le deuxième ensemble [Bektache *et al.*,2012]. Dans notre modèle, chaque véhicule en question (SV) pourrait avoir une vue globale sur l'état futur de son réseau. L'estimation de l'état futur est réalisée à l'aide d'un système de prédiction embarqué. Ce système estime les paramètres d'un seul véhicule à savoir (position, vitesse, accélération, angle de braquage, etc.) ainsi que ceux de ses voisins.

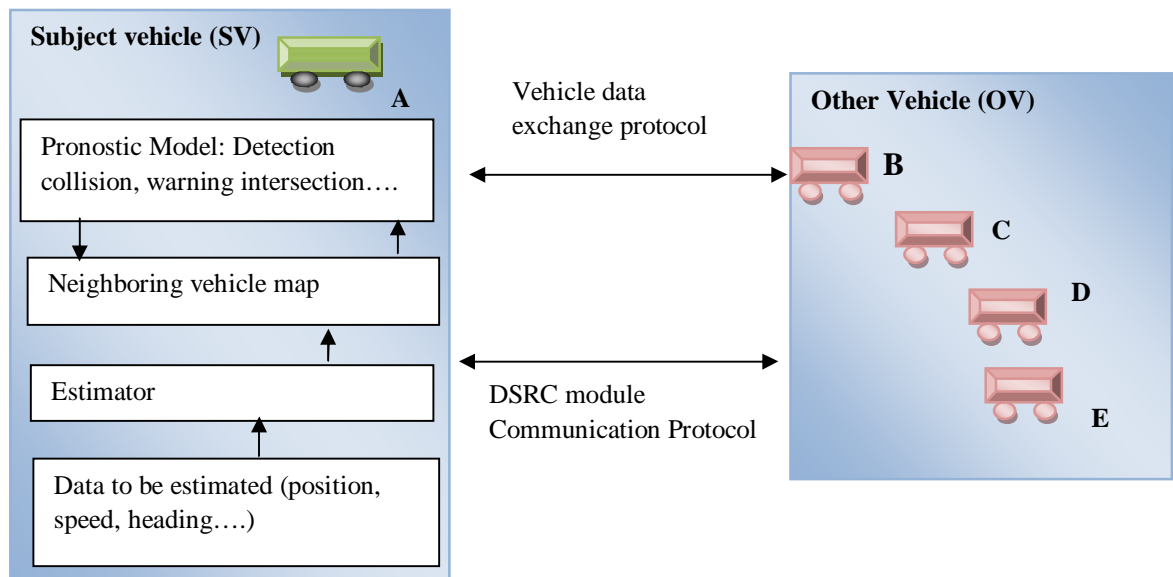


Figure 5.14 L'architecture de modèle de communication proposée

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

L'architecture a des éléments significatifs en communs et utiles aux applications d'alerte. Celles-ci incluent (les données à estimer, l'estimateur, une mappe de voisinage et le module pronostic)

Le véhicule en question est supposé équipé d'un estimateur qui reçoit des informations sensibles et importantes dans la communication inter-véhicule pour éviter une éventuelle collision telles que (la position, la vitesse et la direction) et les estime à l'aide d'un **estimateur** embarqué en utilisant la méthode de filtre de Kalman présenté précédemment. Les paramètres estimés seront directement envoyer vers la **mappe de véhicule avoisinant** (*NVM : Neighboring Vehicle Map*), cette couche a plusieurs fonctions [Sengupta *et al.*, 2007] :

1. Elle envoie les paramètres (la position GPS, la vitesse, et la direction) fournies par son estimateur à l'entité de protocole d'échange de données entres véhicules (*VDEP : Vehicle data exchange protocol*) pour les transmettre à d'autres véhicules.
2. Elle reçoit les paramètres (la position GPS, la vitesse, et la direction) envoyés par d'autres véhicules via l'entité de protocole d'échange de données entres véhicules (*VDEP*).
3. Elle transforme cette information aux coordonnées relatives et les trace sur sa mappe de véhicules avoisinants sous forme d'affichage.

Notre conception requiert deux protocoles de communications, le protocole *VDEP* qui s'occupe de l'échange des données (position, vitesse et direction) sous un format compris par les autres véhicules. Ces messages *VDEP* doivent être envoyés via un protocole de communication radio normalisé, dans notre cas, nous avons choisi celui qu'est destiné aux communications véhiculaires : le standard 802.11p et le module *DSRC*.

5.4.1. Présentation du module pronostique

Le module pronostique (*MP*) est la partie clé de cette architecture, son rôle primordial est de prédire un éventuel danger à l'avance, il permet des échanges avec la couche

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

NVM, cette dernière envoie au MP les informations transformées concernant les coordonnées relatives provenant soit de SV ou de OV pour le traitement, et après une analyse le MP envoie le contre partie le risque généré et la décision afin de la transformer sous forme d'affichage, le MP est considéré comme le moteur de cette conception, le principe de son fonctionnement est illustré dans la figure ci-dessous

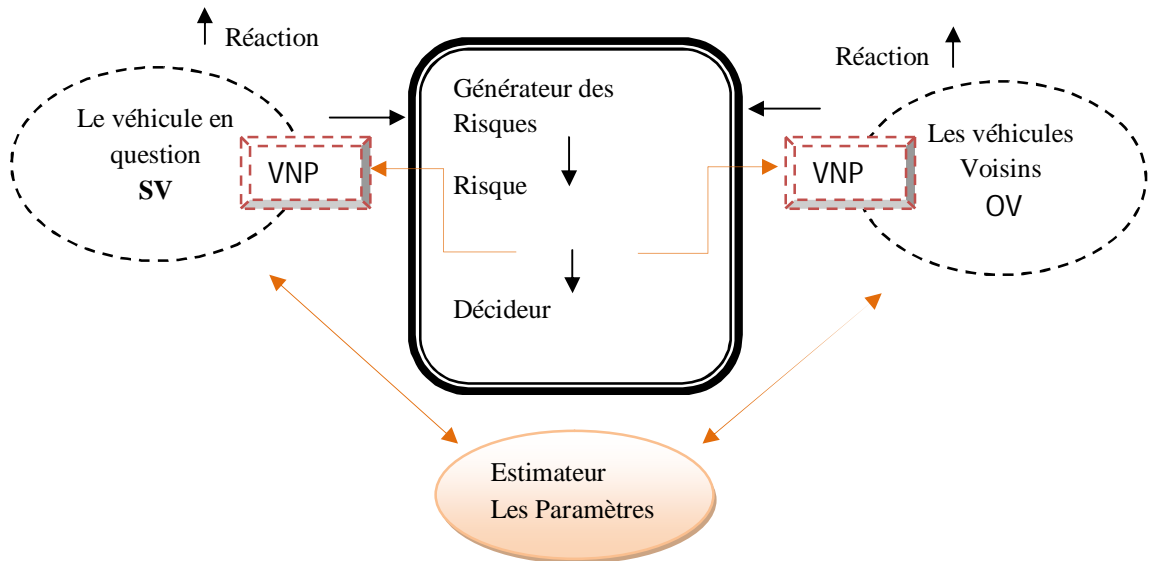


Figure 5.15 Le principe de fonctionnement de module pronostic [Bektacheet *al.*, 2012]

La position, la vitesse et la direction sont des informations importantes dans la communication inter-véhicule pour éviter une éventuelle collision ainsi, que l'estimation des mêmes paramètres permet de générer des alertes à un éventuel risque. Pour cela un module pronostic est intégré dans notre modèle, les composantes de ce module sont un générateur de risque et un décideur.

1. Générateur des risques :

Ce générateur est basé sur l'exploitation de l'estimation des paramètres d'un véhicule (SV) à savoir position, vitesse, direction...etc. Après une analyse et une comparaison entre l'estimation du véhicule en question et l'estimation du véhicule voisin, un risque ou plusieurs peuvent être détectés. Notons aussi qu'il existe des situations dans lesquelles aucun risque ne peut se produire. Dans le cas contraire, chaque risque est

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

évalué en lui interprétant le degré du danger d'une telle situation (degré de risque), ces informations seront transmises vers le décideur [Bektache et al., 2012].

2. *Décideur :*

Après la génération d'un éventuel risque et selon son degré, le risque sera envoyé vers le décideur qui lui génère un type et une décision adéquate, cette décision est retransmise encore une fois au module NVP pour que ce dernier la transforme sous formes de données affichage.

Tableau 5.2 La correspondance risques- décisions

Numéro de risque	Degré de risque	Décision	
		Numéro	Type
1	Risque élevé (collision)	1	Alerte Urgent
2	Risque Moyen	2	Message d'alerte
3	Risque faible (non collision)	3	Message d'information

5.5. Présentation de l'approche de prédiction et d'évitement des collisions FCAA

5.5.1. Supposition

Nous considérons que chaque véhicule est équipé des capteurs, protocoles de communications et des technologies sans fil (GPS, DSRC, estimateurs et les systèmes de détection et d'évitement de collision). De tels outils sont nécessaires pour développer et démontrer le concept de notre approche de prédiction et d'évitement sur un scénario réaliste. Chaque véhicule peut estimer un danger ou une éventuelle collision, ensuite générer des alertes afin d'avertir son conducteur pour l'action d'éviter de collision. Au cas où le véhicule sait les valeurs de ses propres paramètres position GPS, vitesse et toute autre métrique principale, telle que l'angle de direction de véhicule et l'angle de braquage de la roue, l'évaluation de sa future trajectoire deviendrait possible avec les techniques d'estimations présentées précédemment. La trajectoire estimée est transmis à d'autres véhicules par le protocole de transmission DSRC.

5.5.2. Problématique [Bektache et al., 2014]

Les intersections sont les secteurs les plus complexes et les plus dangereux. Le taux d'accident dans les intersections de routes augmente de plus en plus. Les statistiques montrent cela que 43% des accidents surviennent sur les intersections. Cela justifie nos besoins à développer des systèmes de détection et d'évitement des collisions d'intersections. La plupart de système de sûreté d'intersections devrait pouvoir détecter la collision en temps réel. Puis, la délivrance d'alerte de collision doit être a priori "juste à temps" et livrée avant que la collision se produise. Une détection tôt et précise devrait permettre au système de détection un temps nécessaire de prévenir une collision potentielle.

5.5.3. Description de scénario [Bektache et al., 2014]

Dans la suite, nous avons choisi notre scénario sur une intersection critique de type Y, où la visibilité est presque nulle et la communication doit être faite en temps opportun. Ensuite après avoir prouvé la convergence du modèle cinématique utilisé dans les évaluations de trajectoire vers le comportement réel des véhicules, nous pouvons alors l'appliquer dans notre scénario de simulation pour la génération de trajectoires estimées des véhicules.

Le but principal du scénario proposé est l'application de l'approche de prédiction sur une intersection de type Y (voir la figure 5.11) pour détecter et éviter la collision. Les trajectoires estimées seront utilisées pour simuler une intersection de k véhicules. Premièrement, il est nécessaire de choisir parmi tous les véhicules de réseau le véhicule en question et les autres véhicules noté respectivement, SV (c.-à-d. porte le module pronostic) et OV (c.-à-d. les voisins de SV). La topologie d'intersection est caractérisée par une jonction multiple de degré 03 défini par l'intersection de deux routes principale et secondaire, cette zone est formée par l'intersection de trois tronçons (R_1, R_2, R_3), chaque route est composée de deux voies : la voie gauche et la voie droite notées respectivement L_{lj} et L_{rj} où j représente le numéro de l route.

Dans la description de scénario nous supposons que les deux véhicules choisis précédemment SV et OV sont localisés, respectivement, sur L_{r3} .i.e. sur la voie droite de

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

la route R_3 et sur L_{r1} .i.e. sur la voie droite de la route R_1 (voir la figure ci-dessous). Afin de superviser l'intersection, la jonction est caractérisée par deux principales régions : la première région noté $Z(D_{coll})$ représente la zone de collision où les véhicules se sont probablement écrasés, son diamètre est limitée à 1 ($D = 1$) cela est expliqué que chaque cellule de la route capable de contenir un seul véhicule. La taille de cette cellule varie entre **5-7.5m**. La deuxième région décrit la zone de risque, elle est limitée par des points de seuil définis sur chaque route formant une surface circulaire du rayon r dénoté par $Z(r)$ où la collision peut se produire et les véhicules doivent être vigilants .i.e. le système doit déclencher le module de prédiction. L'activation du module de prévision dépend de la position estimée du véhicule s'approchant de la circonférence de $Z(r)$. La communication entre SV et OV doit commencer quand l'un des véhicules estime une collision.

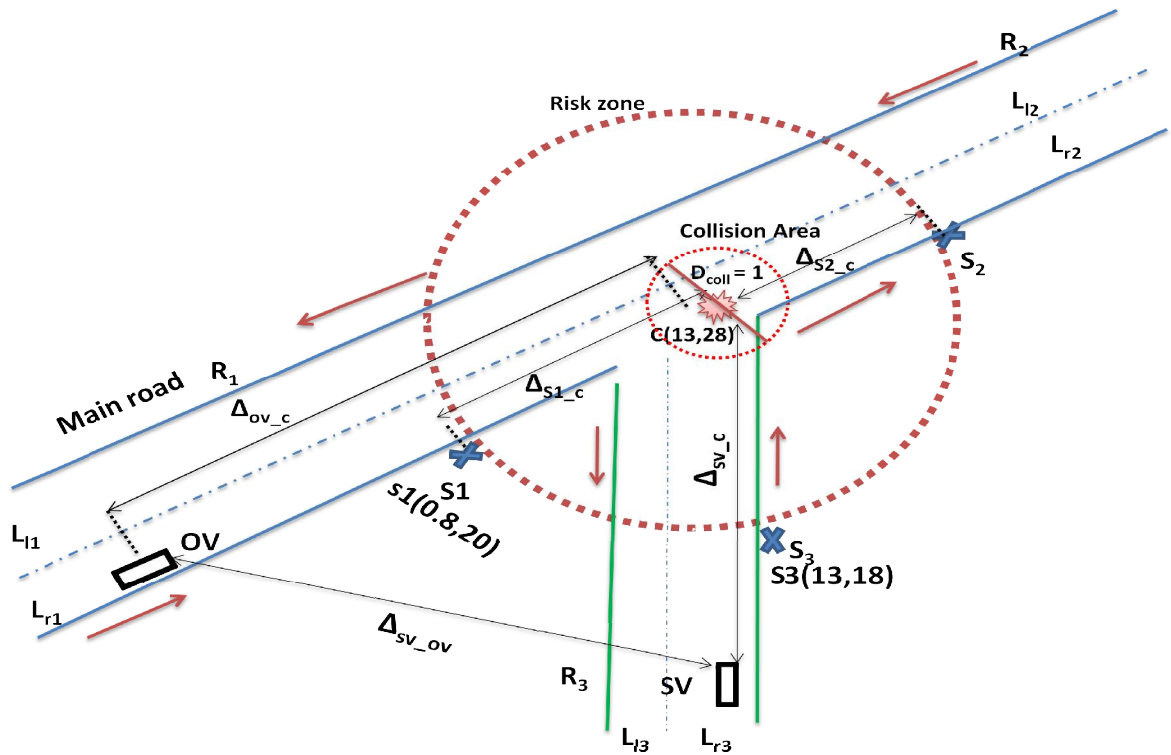


Figure 5.16 Présentation et description de scénario d'intersection

5.5.4. Le concept de l'approche de prédiction proposée [Bektache et al., 2014] :

Chaque véhicule de ce modèle introduit la technique d'alerte des véhicules voisins dans le cas où un véhicule estime l'occurrence d'un éventuel risque (Estimation, Génération des risques, Décision, Réaction). Cela ne signifie pas que les estimations doivent permettre la prévision des accidents avec exactitude, mais plutôt la distinction entre une situation à haut risque (collision) et une situation à faible risque (pas d'accident). Cette approche se base sur trois étapes estimation détection et évitement.

La prédiction et la détection de collision : Principalement basée sur le calcul de la trajectoire estimée : à chaque instant le véhicule peut estimer une éventuelle collision. Cette dernière se produit si au moins deux véhicules calculent leurs prochaines positions dans la zone rouge (région de collision) en même temps t . Le point de la collision notée par $C(\cdot)$ est défini par les coordonnées C_x et C_y (coordonnée latérale et longitudinale, respectivement). La distance entre les prochaines positions des véhicules SV et OV est noté par Δ_{sv}^{ov} , on le calcule en utilisant la formule euclidienne. La condition de la collision doit être commencé quand les véhicules (SV et OV) trouvent leurs prochaines positions estimées appartiennent à la région $Z(D_{coll})$

$$\Delta_{sv}^{ov}(i) \leq D_{coll} \equiv \{(SV(\hat{X}, \hat{Y}) \wedge (OV(\hat{X}, \hat{Y}) \in Z(D_{coll}) \exists C(C_x, C_y))\} \quad (5.18)$$

Génération d'alerte et la réaction d'évitement de la collision : comme les véhicules estiment leurs trajectoires à chaque instant et qu'à chaque fois trouve qu'une collision peut se produire prochainement et que la communication entre véhicule se fait d'une façon permanente mais la question qui se pose est quand le module de prédiction sera déclenché ? Quand l'un des véhicules se rapprochent de la zone de risque et que une collision est toujours estimée, alors les coordonnées C_x et C_y doit être communiqué aux voisins sous forme d'une alerte de collision. Pour cette raison que nous avons défini sur chaque route un point seuil noté S_j « j : identifiant de la route », ce point forme par rapport au point de la collision estimée une distance seuil notée Δ_{sj}^c . Ces distances, les coordonnées de la collision et les trajectoires estimées sont utilisées par le SV afin de définir les paramètres de la procédure d'évitement de collision. Cette procédure est basée

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

sur l'algorithme de prédiction, détection et évitement de la collision (FCAA), le principe de cette partie est qu'à chaque instant elle compare les deux paramètres, à savoir la distance instantanée de chaque véhicule k relativement au point de collision noté Δ_k^c et la distance seuil sur la même route Δ_{sj}^c où j et k sont l'identifiant de la route et l'indice de véhicule sur cette route respectivement.

$$\text{If } (\Delta_k^c \leq \Delta_{sj}^c) \text{ trigger the forecast module.} \quad (5.19)$$

Les résultats obtenus après avoir exécuté la procédure FCAA sont récapitulés en deux principaux paramètres qui sont calculés à chaque instant t :

1. le temps restant pour atteindre le point de la collision pour déduire le temps critique pour éviter la collision
2. la distance qui sépare le véhicule de zone de la collision pour déduire la distance prévue pour déclencher la prévision.

Ces paramètres sont essentiellement employés dans le déclenchement du module pronostique pour éviter la collision. Finalement, un nouveau vecteur de sûreté $(\hat{X}, \hat{Y}, \hat{V}, \hat{\varphi}, \hat{\alpha})$ est régénéré pour l'évitement de la collision.

5.5.5. Présentation de l'algorithme de prédiction et d'évitement de collision

Forecasting Collision Avoidance Algorithm (FCAA)

Begin_Algorithm

STEP 1: Declaration and Initialization

Each vehicle k has a parameters vector such as: $\{X, Y, V, \varphi, \alpha\}$

Indicate the Subject and Other Vehicles (SV, OV)

$D_{coll}=1$ // the diameter of the collision area

X_{sj}, Y_{sj} // Threshold coordinates in the road

Δ_{sj}^c // the distance between road threshold S_j and the collision point

$\Delta_{sv}^c, \Delta_{ov}^c$ // the distance between SV vehicle or OV vehicle and the collision point

N : number of iterations

```
STEP 2: for each vehicle k do  
//TrajectoryEstimationProcedure  
    for each iteration i= 0 to N  
        calculate { $\varphi_k(i + 1)$ ;  $V_k(i + 1)$ ;  $X_k(i + 1)$ ;  $Y_k(i + 1)$ }  
    end_for  
end_for  
  
STEP 3: for each vehicle SV and OV do  
//CollisionDetectionProcedure  
    for each iteration i= 0 to N  
         $\Delta_{SV}^{OV}(i) = \sqrt{\left( (X_{OV}(i) - X_{SV}(i))^2 + (Y_{OV}(i) - Y_{SV}(i))^2 \right)}$   
        if ( $\Delta_{SV}^{OV}(i) \leq D_{coll}$ )  
            calculatethecollisionpointC(X, Y)  
        end_if  
    end_for  
end_for  
  
STEP 4: for each selected SV do  
//AvoidanceCollisionProcedure  
    for each iteration i= 0 to N  
        calculatethedistancetocollision $\Delta_{sv}^c(i)$ ;  
        if ( $\Delta_{sv}^c(i) \leq \Delta_{sj}^c$ )  
            update the collision coordinates  
            trigger alerts to Neighbor OV ;  
            trigger the forecasting approach ;  
        else  
            gotostep 2.: estimationtrajectoryofSV  
        end_if  
    end_for  
end_for  
end_Algorithm
```

Chapitre 5 : Conception et Modélisation

L'algorithme ci-dessus est composé de quatre étapes, chaque étape est considérée comme une fonction qui contribue à la réalisation d'une tâche bien définie :

La première étape concerne la partie déclaration et d'initialisation, le nombre de véhicule du réseau k doit être initialisé, désigné parmi les k véhicules le véhicule en question SV (*les $k-1$ véhicules qui restent sont automatiquement les OV*), définir l'état initial de chaque véhicule $(x, y, V, \varphi, \alpha)$ et les différents paramètres (le diamètre de la zone de risque et de collision, les seuils...)

La deuxième étape permet de calculer à chaque itération, les trajectoires estimées des différents véhicules à partir de l'estimation des paramètres $(x, y, V, \varphi, \alpha)$.

La troisième étape consiste à décrire la procédure de détection de collision entre la paire de véhicules SV et OV initialisés précédemment. Son principe de fonctionnement est de boucler sur un nombre important d'itérations afin d'estimer une collision et dans le cas où le couple de véhicule (SV et OV) estime leurs prochaines positions dans la même zone alors les coordonnées d'une collision seront renvoyées.

La quatrième étape consiste à déclencher le module pronostic pour générer la réaction d'évitement de la collision, cette procédure est appliquée par le SV , à chaque itération teste sur la zone de risque, dans le cas où le SV franchit la zone de risque il met à jour les coordonnées de la collision, envoie l'alerte aux voisins et déclenche le module pronostic sinon (le SV n'est pas arrivé à la zone de risque) le véhicule régénère l'estimation de sa trajectoire, vérifie l'existence de la collision encore une fois et ré-exécute l'étape quatre à nouveau.

5.6. Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la conception et à la modélisation de notre système de communication proposé dans un réseau VANET. Cette conception est basée sur la modélisation cinématique du véhicule, deux approches ont été détaillées : la modélisation cinématique de type bicyclette (avec seulement deux roues) et la modélisation cinématique de type véhicule (avec quatre roues). Vu qu'une future utilisation de ce dernier modèle est nécessaire, nous l'avons validé par simulation, nous avons vérifié que ce modèle est réel pour le suivi et l'estimation de la trajectoire d'un véhicule. Notre choix est porté sur le modèle cinématique de type véhicule pour deux raisons : la première est que ce modèle reflète réellement un nœud d'un réseau VANET, et la deuxième raison c'est que nous avons besoin de ce modèle dans notre architecture proposée pour la génération des estimations des trajectoires. Nous avons étudié deux approches d'estimation, la première est basée sur la modélisation cinématique et la deuxième basée sur la méthode du filtre de Kalman. Notre conception est basée sur le modèle cinématique de type véhicule et la méthode du filtre de Kalman dans les estimations des trajectoires. Dans le chapitre suivant, nous allons appliquer l'architecture proposée sur un scénario réel, les performances de l'architecture proposée seront simulés et validés par des testes et des simulations réelles.

Chapitre 6

Simulation, Tests, et Résultats

6.1. Introduction

L'approche de prédiction proposée est basée sur le modèle cinématique de chaque véhicule, l'estimation des paramètres comme la position, la vitesse, l'accélération et l'angle de braquage, etc. génère des trajectoires estimées. Le but principal de l'approche prédictive suggérée est de détecter et d'éviter le risque de la collision estimé (i.e. réagir avant l'occurrence de l'incident). Sur la base de ces trajectoires estimées, l'occurrence d'une future collision peut être calculée, une alerte doit être communiquée au temps réel et ceci déclenchera le module de prévision afin d'éviter cette collision.

Le travail que nous proposons dans ce chapitre est de réaliser une simulation en temps réel de l'approche de prédiction proposée dont le but principal est l'évaluation et la validation de cette approche FCAA proposée. Pour ce faire, nous avons choisi le simulateur SCANeR studio qui répond à nos exigences et à nos critères. Cette étude nous permettra de mettre en œuvre une stimulation s'approchant aux plus près des situations réelles et d'émettre des conclusions sur l'approche de prédiction proposée. Le simulateur SCANeR studio, nous permet d'évaluer les performances de la solution développée ainsi que de faire des tests sur des terrains en conditions réelles. Ce chapitre s'articule autour de deux parties, en premier lieu, nous présenterons une simulation simple d'un scénario d'intersection sans et avec l'approche FCAA. Dans la deuxième partie, nous passerons à une simulation réelle avec le simulateur SCANeR studio, dans laquelle nous présenterons la plateforme de simulation SCANeR studio : les motivations quand au choix de ce logiciel, ses atouts et ses différents modes de simulation, sont présentés. Afin de mener à bien cette expérimentation, nous l'avons appliqué sur un scénario réel conçu par SCANeR studio. Une simulation, évaluation et validation sera présentée à la fin de ce chapitre, nous expliquerons la procédure de simulation de notre approche de prédiction, les critères de simulations suivis, les différentes simulations effectuées et les obstacles rencontrés pour ensuite, exposer les résultats obtenus. En dernier lieu, nous consacrons une partie pour discuter de la concordance de nos résultats avec nos objectifs tracés et conclure par une étude comparative.

6.2. Application et simulation de l'approche FCAA sur un réseau VANET

La première validation sera faite par une simulation simple à l'aide de simulateur Matlab Simulink. Nous allons simuler un scénario d'intersection sans et avec l'approche de prédiction décrite dans le chapitre précédent. Cette simulation vise à obtenir des résultats réels et d'évaluer l'approche FCAA, cette évaluation doit être accordée aux critères de scénario et au modèle d'équations cinématiques simulé dans le chapitre 5 qui est réutilisé pour l'estimation des trajectoires des véhicules.

6.2.1. Simulation d'un scénario sans FCCA

Premièrement nous avons simulé le scénario que nous avons décrit dans le chapitre précédent sans appliquer l'approche de prédiction proposée, le tableau suivant illustre les coordonnées initiales et finales de chaque véhicules.

Tableau 6.1 Les données de simulation sans l'application de l'approche FCAA

	<i>SV</i>					<i>OV</i>				
	X	Y	V	α	φ	X	Y	V	α	φ
T ₀	13	0	35	0	$\pi/2$	-11	0	47	$\pi/90$	$2\pi/5$
T ₈	13	28	35	0	$\pi/2$	12.39	27.9	47	$-\pi/90$	0.5

Le tableau ci-dessus représente des données de simulation de l'état initial et final de chaque véhicule (les véhicules *SV* et *OV*). Dans la huitième itération nous remarquons que les positions estimées des deux véhicules *SV* (13 , 28) et *OV* (12.39 , 27.9) respectivement appartiennent à la zone de collision *Z* (*Dcoll*), ceci explique qu'une collision existe, la collision au point (12.9, 28) est inévitable si les deux véhicules continuent à circuler avec la même vitesse . La simulation de scénario d'intersection génère un fichier trace qui décrit les requêtes échangées et les déplacements estimés des deux véhicules sans appliquer de l'approche *FCAA* proposée comme le montre la figure suivante.

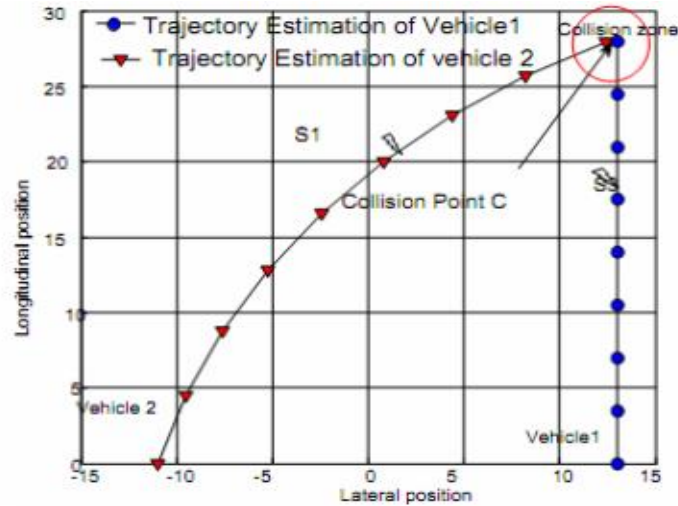


Figure 6.1 La simulation d'un scénario d'intersection sans l'approche FCAA

6.2.2. Simulation d'un scénario avec l'intégration de l'approche FCAA

Dans cette partie nous allons simuler l'approche de prédiction proposée qui a été appliquée sur le même scénario précédent. Pour mieux évaluer l'impact des résultats de l'approche FCAA, nous allons la tester en alternance sur deux véhicules (Veh_1 et Veh_2) : dans le premier teste nous allons choisir Veh_1 comme un véhicule SV ensuite nous choisissons pour le deuxième teste le Veh_2 comme un véhicule SV. Le principe de fonctionnement de l'approche FCAA est basé sur le déclenchement du module pronostic lorsqu'un véhicule dépasse le seuil fixé sur la route.

Premièrement, nous avons choisi Veh_1 comme le véhicule qui porte le module pronostic pour éviter la collision, nous définissons un point seuil $S3$ (13, 18) sur la route R_3 . Les distances $\Delta_{S3}^c \Delta_{SV}^c$, représentent la distance qui sépare le seuil S_3 et le véhicule SV respectivement au point de la collision estimée.

Les distances $\Delta_{S3}^c \Delta_{SV}^c$, peuvent être calculées à tout moment par le véhicule SV. Ces distances et la trajectoire estimée sont utilisées par le véhicule SV pour définir les paramètres de la procédure d'évitement de la collision. Le principe de l'approche proposée est explicitement montré par la réaction de véhicule, cette réaction est interprétée par le taux de décélération à partir de la 6^{ème} itération (où les coordonnées de SV ont dépassé le seuil S3). Les coordonnées de véhicule SV dans la 6^{ème} itération sont (13, 21), ce point appartient à la distance Δ_{S3}^c , ceci implique le déclenchement du module

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

pronostic avant la 6^{ème} itération et le véhicule SV diminue sa vitesse comme le tableau suivant le montre (voir la figure 6.2a).

Tableau 6.2 Les coordonnées de véhicule SV dans le premier test

N° de l'itération	Les coordonnées de SV sans FCAA		Les coordonnées de SV avec FCAA	
	X	Y	X	Y
5	13	17.5	13	17.5
6	13	21	13	19.5
7	13	24.5	13	21.5
8	13	28	13	23.5

Deuxièmement le Veh_2 est choisi comme un véhicule en question, le point seuil $S_I(0.80, 20)$ est défini sur la route R_I . L'effet de cette approche est interprété par le taux de décélération de la vitesse du véhicule SV depuis la 6^{ème} itération. En effet, avec les coordonnées de la collision $C(13, 28)$, et le point seuil $S_I(0.8, 20)$, le véhicule SV peut calculer à tout moment les distances $\Delta_{S_1}^c \Delta_{S_v}^c$, qui le sépare de seuil S_I et de point de la collision respectivement.

Dans la 6^{ème} itération, les coordonnées de véhicule sont $(4.36, 23.06) \in \Delta_{S_1}^c$ ceci implique le déclenchement de module pronostic avant la 6^{ème} itération où les coordonnées de SV ont dépassé le seuil S_I (voir la Figure 6.2.b). Ces distances $\Delta_{S_1}^c \Delta_{S_v}^c$ et la trajectoire estimée sont utilisées par le véhicule SV pour définir les paramètres de la procédure d'évitement de la collision, le tableau suivant montre les coordonnées de véhicule SV sans et avec l'approche FCAA à partir la 5^{ème} itération.

Tableau 6.3 Les coordonnées du véhicule SV sans et avec FCAA dans le deuxième test

N° de l'itération	Les coordonnées de SV sans FCAA		Les coordonnées de SV avec FCAA	
	X	Y	X	Y
5	0.8	20	0.8	20
6	4.36	23.06	3.07	21.95
7	8.24	25.72	5.48	23.74
8	12.39	27.93	8	25.36

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

Les données de simulation des deux tests génèrent des fichiers TRACE qui décrivent les déplacements des deux véhicules.

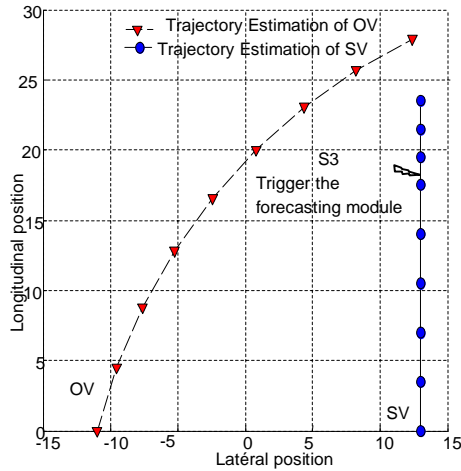


Figure 6.2.a La simulation de scénario avec FCAA (premier teste)

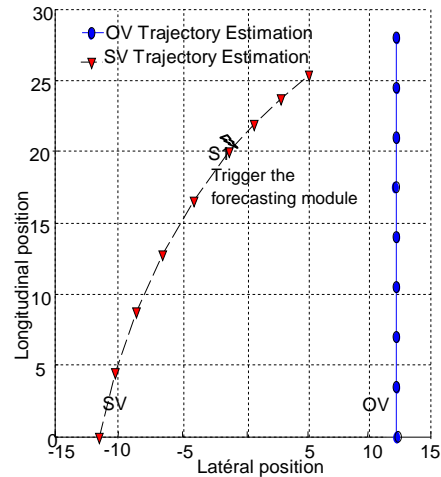


Figure 6.2.b La simulation de scénario avec FCAA (deuxième teste)

6.3. Validation de l'approche FCAA par le Simulateur SCANeR Studio

La simulation dans les réseaux VANET est considérée comme la première étape pour réaliser des tests avant la fabrication de prototype physique. Les outils de simulation des réseaux véhiculaires présentés dans le chapitre quatre sont divers (MOVE, SUMO, NCTUns, .etc.) à savoir le niveau de simulation souhaité (mobilité, trafic ou réseau), l'utilisation de ces simulateurs nous oblige de passer par plusieurs simulations à savoir celui de mobilité de trafic ou de réseaux. Par contre dans notre cas, nous avons choisi une simulation 3D–temps réel i.e. la concaténation des modèles dynamiques avec un simulateur dans un format graphique en trois dimensions et une communication temps réel avec le système physique; cette simulation est réalisée à l'aide d'un nouveau simulateur nommé « *SCANeR studio* ». Ce simulateur est considéré différent par rapport aux autres simulateurs présentés précédemment, cette différence est distinguée par sa particularité d'englober d'autres niveaux de simulation en un seul simulateur, la *figure 6.3* montre les composantes principales regroupées par ce simulateur qui sont : le noyau, le conducteur, l'environnement, le véhicule et la

simulation. Il est considéré comme un simulateur complet qui contient d'autres modules de simulation.



Figure 6.3 les Modules englobés par le simulateur SCANeR Studio

6.3.1 Le choix du simulateur

Pour la plateforme de simulation nous avons choisi le simulateur SCANeR studio, ce simulateur nous aide dans nos tests de simulation pour valider notre approche de prédiction proposée FCAA. Les fonctionnalités de logiciel SCANeR studio sont :

- ✓ La plateforme SCANeR studio combine tous les modèles pertinents (mobilité, trafic et réseau) en un seul système.
- ✓ Il contient un modèle de véhicules qui repose sur deux types de paramètres : des paramètres physiques pour les véhicules, et des paramètres pseudo-psychologiques pour les conducteurs, ce logiciel nous a permis d'avoir à la fois un modèle dynamique de véhicule sous un format graphique en 3D et une communication temps réel avec le système physique.
- ✓ Il contient un modèle de décision pour les véhicules autonomes « perception décision et action »
- ✓ un point important dans ce logiciel est l'ouverture de son architecture. Les communications sont basées sur un protocole commun, et une API permet

d'interagir avec l'ensemble des modules. Cette API est fournie aux utilisateurs et rend possible l'interfaçage d'applications

- ✓ Il nous permet aussi le paramétrage du modèle à chaque itération.

Le simulateur SCANeR studio nous donne une possibilité de créer un terrain réel en 3D, gérer le trafic routier en respectant nos exigences, pour ces raisons nous jugeons ce simulateur comme un simulateur complet.

6.3.2 Présentation d'un logiciel SCANeR studio

Le logiciel SCANeR studio est une plateforme de simulation au temps réel dédié à la simulation de trafics routiers, il a une configuration distribuée, flexible et modulaire, ce qui signifie que nous pouvons utiliser et ajouter des modules selon nos besoins, ces différents modules peuvent être exécutés sur des machines différentes, et communiquent à travers le réseau, Les communications se font soit par Ethernet, soit par l'intermédiaire de mémoires partagées, il possède un protocole de communication (Daemon communication protocol) qui s'occupe du transfert des données entre les modules de SCANeR studio, l'utilisation de ce logiciel permet :

- La création de terrains soit par une superposition d'un modèle issu d'une base de données cartographiques (Google Earth), dans ce cas il suffit juste de reprendre exactement les paramètres réels et la disposition de différents objets sur une zone particulière, soit par une méthode manuelle, dans ce cas nous basons sur les outils de logiciels pour tracer la topologie, les routes et les différents objets souhaités.
- La modélisation de la dynamique de différents types de véhicules intervenant sur le terrain capturé et la visualisation en 3D des objets.
- La gestion de trafic (contrôle des feux, priorité de circulation ...),
- L'implémentation des algorithmes à travers des scripts appropriés.
- la simulation des indicateurs sur le trafic et la dynamique des véhicules.

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

Le logiciel SCANeR studio s'exécute sur une séquence de cinq modes bien déterminées qui sont:

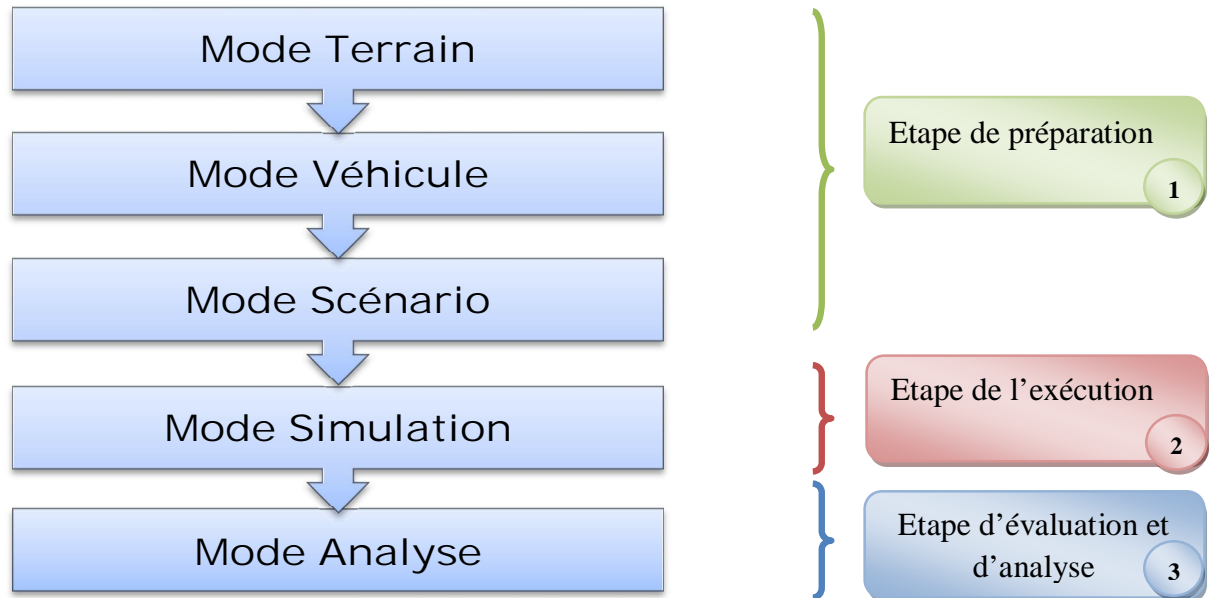


Figure 6.4 Les différents modes de simulation sans SCANeR studio

▪ Le mode terrain

Le mode « terrain » permet de créer un terrain en trois dimensions sur lequel la simulation déroulera. En effet, il nous permet la création de terrain par deux méthodes, la première consiste de faire un traçage manuel on utilisant l'ensemble d'outils de ce logiciel, la deuxième permet d'exploiter les informations issus d'une cartographie télécharger afin de la reconstruire en virtuel, avec les deux méthodes le mode terrain nous offre une panoplie d'outils permettant de créer un profil particulier de route, de changer leurs dimensions, le type de la chaussée ainsi que l'insertion des différents objets comme les bâtiments, les ponts, les feux, les panneaux de signalisation.ect, ces objets peuvent être positionnés comme dans un environnement réel.

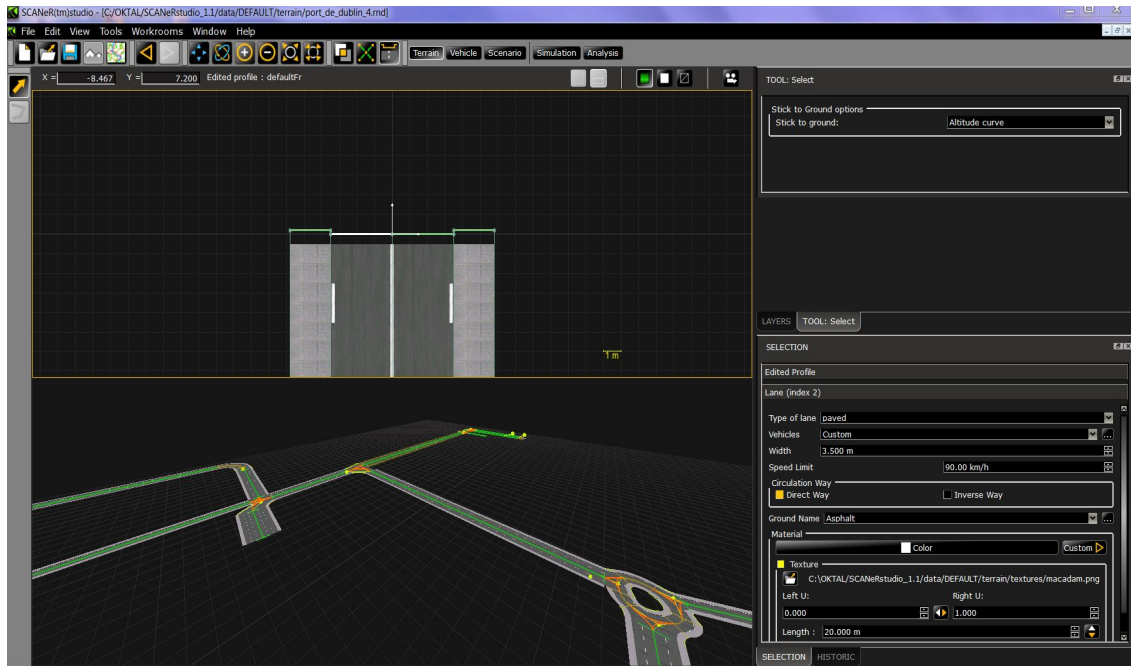


Figure 6.5 La représentation de mode terrain

- **Le mode véhicule**

Le mode véhicule permet de créer un véhicule, de type léger ou lourd, avec toutes les dynamique associées à la suspension, la pneumatique, la motorisation. Ce mode permet aussi de définir les paramètres initiaux de la cinématique de chaque véhicule (position, vitesse et direction). Le mode véhicule nous donne la possibilité d'insérer d'une manière automatique des modèle déjà prés définit dans le logiciel SCANeR studio, dans ce cas là il suffit juste de définir les paramètres de modèle physique et graphique, les capteurs embarqués, l'itinéraire du véhicule et son statut (actif, interactif ou invisible). Pour le moyen de contrôle du véhicule, nous distinguons deux modes : le mode autonome ou interactif

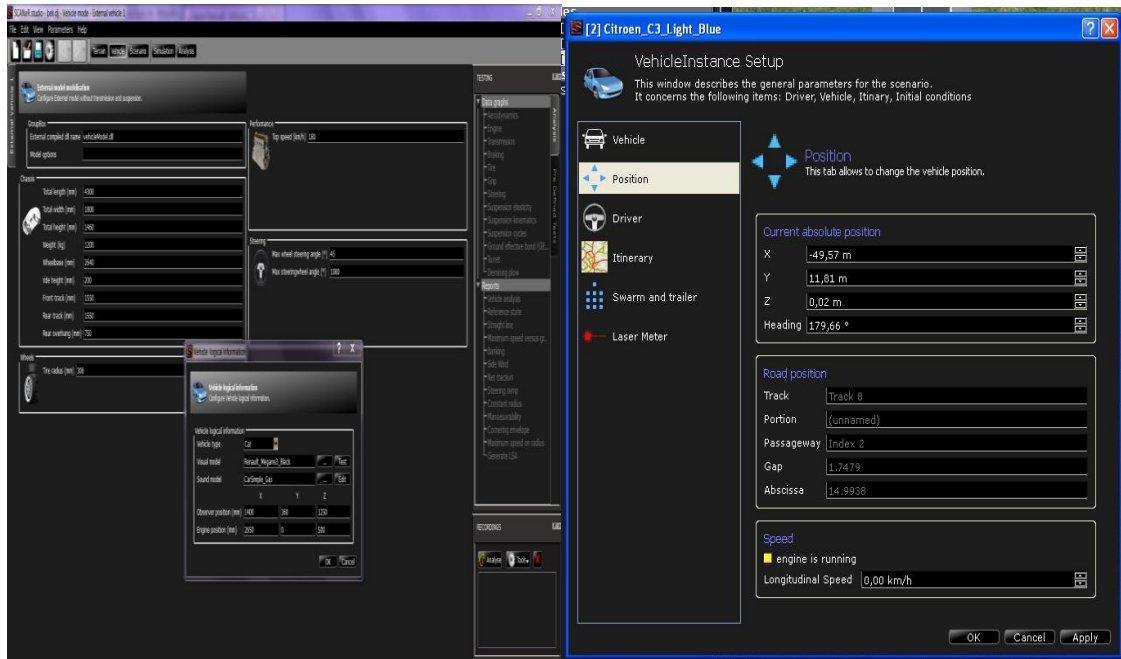


Figure 6.6 La représentation de mode véhicule

- **Le mode scénario**

Après avoir tracé le terrain de simulation, insérer et placer les véhicules souhaités, un scénario entre le terrain et les véhicules peut être généré par le mode scénario, en effet on peut y ajouter des véhicules de types interactifs ou autonomes. De même, nous pouvons placer une source ou un puits permettant de générer et de détruire un trafic aléatoire des véhicules avec différents niveaux de modélisation voir la figure 6.7. Comme nous l'avons expliqué un scénario est une agrégation d'éléments, notamment un script. Le langage script est dédié à la gestion des événements tels que les situations d'accidents. Le script de SCANeR Studio est un langage spécifique (des concepts comme: les tâches, les règles, les actions ...).

Le script est le code du scénario qui rend éléments interagissent lors de la simulation. Un élément en interaction peuvent être: des cas de ressources (comme une voiture), les réactions des modules (comme "l'affichage d'un texte sur l'écran VISUAL") etc...

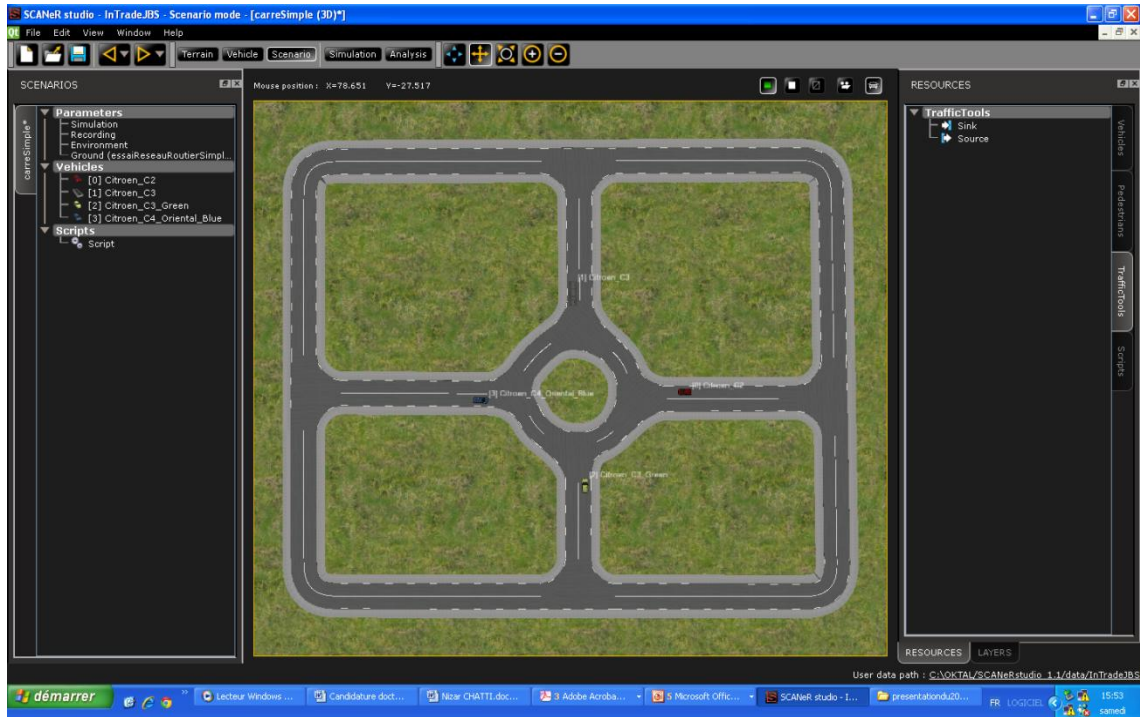


Figure 6.7 La représentation de mode scénario

- **Le mode simulation**

Le mode simulation permet de lancer une simulation d'un scénario qu'on a spécifié au préalable. En effet, ce mode permet de superviser en trois dimensions l'évaluation d'un ou plusieurs véhicules avec la possibilité de tout visualiser en changeant le plan de vue. Lors d'une simulation, nous devons activer certains modules comme par exemple : « traffic » pour la gestion de trafic, « physics » pour activer la dynamique de certains objets virtuels, « visual » pour la visualisation en 3D, « record » pour activer l'enregistrement de la simulation de scénario sous forme vidéo, « API » pour activer les applications externes programmées.

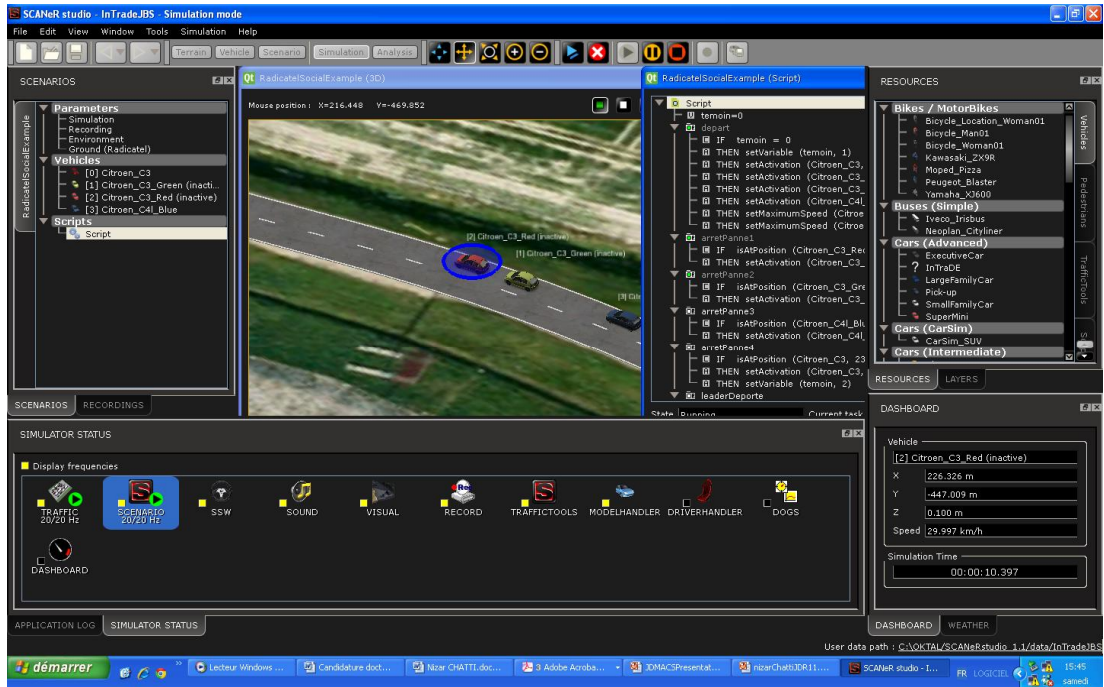


Figure 6.8 La présentation du mode simulation

■ Le mode analyse

Une fois la simulation est effectuée, toutes les données relatives à chaque véhicule peuvent être affichées et analysées dans le mode « Analysis ». En effet, on peut récupérer les données issues des différents capteurs permettant ainsi d'avoir un rendu sur la dynamique d'un système de transport.

6.3.3 Conception d'un scénario de simulation en temps réel

Dans l'objectif de valider notre approche FCAA, la plateforme « SCANeR studio » permet de simuler plusieurs scénarios dans un environnement virtuel et dynamique extrait de la ville d'Annaba. Pour le terrain, nous avons choisi le déroulement des scénarios sur les intersections de type Y comme nous avons défini dans le contexte de notre approche de prédiction présentée dans le chapitre précédent. Les consignes des trajectoires estimées ainsi que les fonctions de l'approche de prédiction sont programmées dans un fichier Script. Concernant les véhicules insérés, un est considéré comme un véhicule en question (le véhicule où nous allons programmer l'approche de prédiction) et les autres sont considérés comme des voisins. Dans un second temps,

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

pendant la circulation, chaque véhicule transmet au simulateur 3D - temps réelles des informations issues des capteurs embarqués afin que ce dernier arrive à reconstruire dans l'environnement virtuel le comportement réel du véhicule. Ainsi, cette plateforme servira comme moyen de supervision en ligne de système. Le processus de simulation de notre approche proposée suivra les mêmes étapes que nous avons décrites précédemment :

6.3.3.1 Mode terrain

Dans ce mode «Terrain» nous avons préparé deux terrains : le premier est situé dans la ville d'Annaba, téléchargé à partir de logiciel Google Earth, ce mode nous a permis de recréer un terrain réel en 3D suivant ses caractéristiques. En effet, il permet d'exploiter les mêmes informations issues de la cartographie 3D téléchargée afin de le reconstruire en virtuel. Le deuxième terrain est une topologie qui existe à Sidi Amar Annaba, elle est conçue manuellement en utilisant une panoplie d'outils qui se trouve en ce mode, ce mode nous a permis de créer un profil particulier de route, de changer les dimensions des routes, le type de chaussée mais également les objets peuvent être positionnés comme dans un environnement réel (Voir figure.6.9)

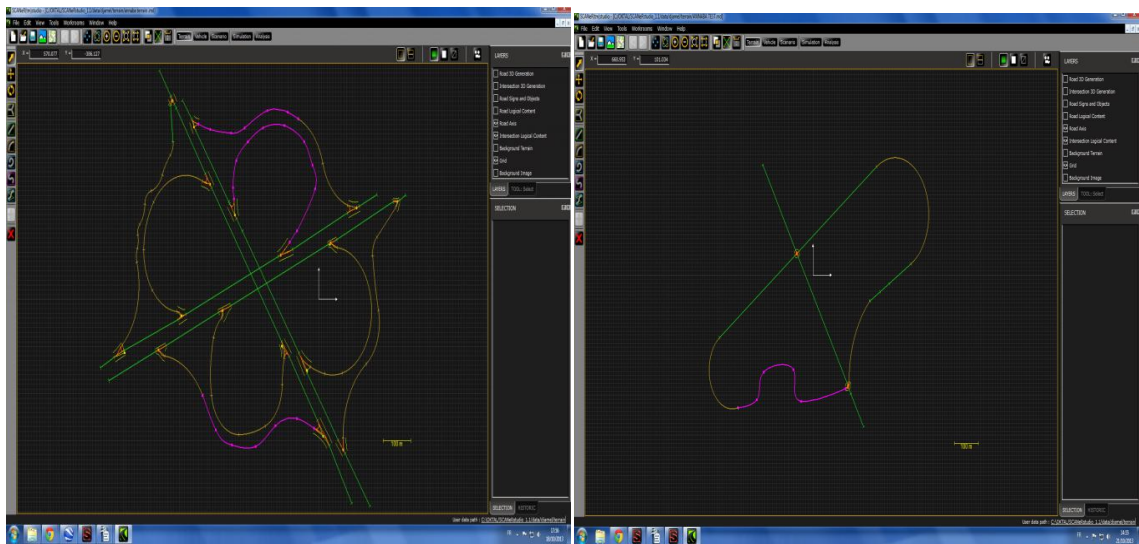


Figure.6.9. La représentation des deux modes de terrains avant la finalisation

Après avoir modifié les dimensions et la topologie des routes, insérer les feux de signalisation et les stop nous activons :

- Road logical and intersection content
- Background terrain and image

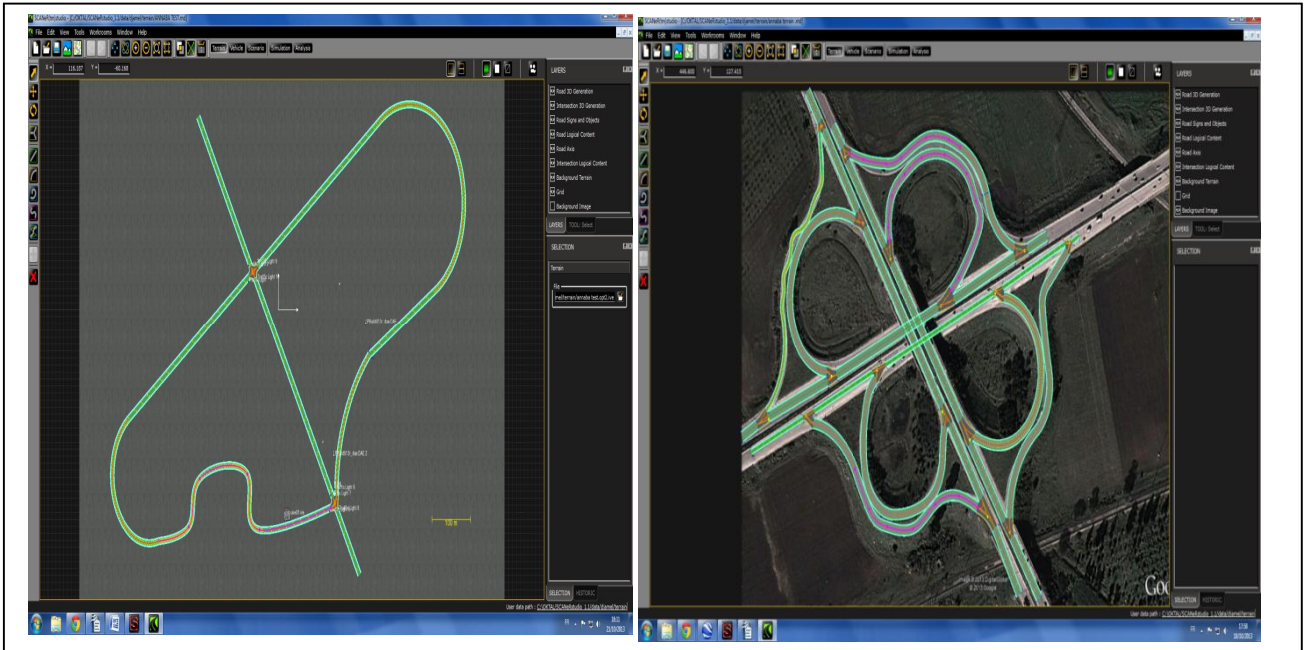


Figure.6.10. La représentation des deux terrains après la finalisation

6.3.3.2 Mode Véhicule

Nous rappelons que ce mode permet de créer soit un nouveau véhicule qui répond au modèle physique et dynamique souhaités, soit d'insérer directement l'un des véhicules qui existe déjà dans le simulateur. Dans notre application nous allons nous baser sur les véhicules déjà existants mais avec une intégration de notre modèle cinématique proposée, (notre approche ne s'intéresse pas au physique ou à la suspension du véhicule), juste de définir la position et la vitesse initiales de chaque véhicule, son itinéraire et le moyen de contrôle du véhicule à savoir véhicule autonome ou interactif. Comme nous avons cité dans notre approche, nous allons spécifier le véhicule *SV* i.e. sur lequel nous programmons l'approche *FCAA*, et les voisins (*OV*). Concernant le véhicule *SV* nous allons spécifier les critères de l'approche *FCAA* liés aux estimations des paramètres cinématiques (position, vitesse et direction) comme un modèle avancé, les modèles des véhicules voisins nous les considérons comme des modèle de type simple, la figure 6.11 montre le modèle de type avancé de véhicule *SV*.

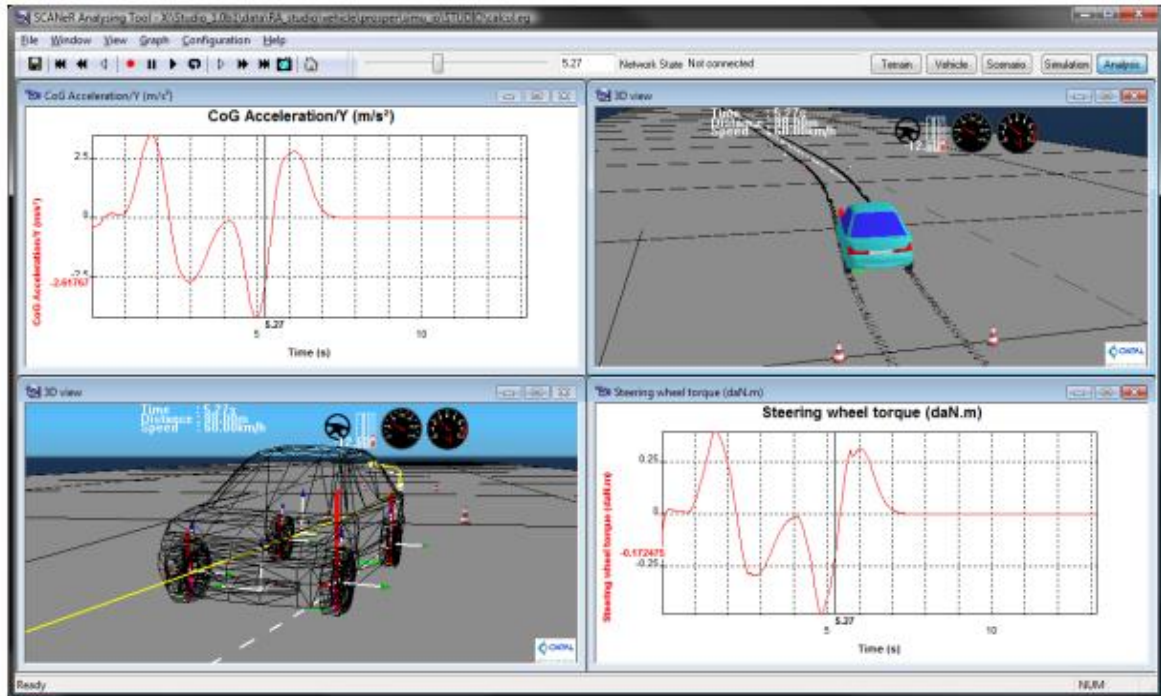


Figure 6.11 Le mode « véhicule » de type avancé pour le SV

6.3.3.3 Mode scénario

Comme nous l'avons vu, la préparation de scénarios est un des éléments clé pour la réussite des réalisations de la simulation. Le mode « Scenario » nous permet de générer des scénarios entre le terrain et les véhicules qu'on a créé précédemment. En effet, on peut y ajouter des véhicules de différents types interactifs ou autonomes. La chose la plus importante dans ce mode, ce n'est pas la planification de scénario, mais plutôt l'intégration de l'approche proposée dans le scénario.

Nous avons généré trois scénarios différents avec les deux terrains qu'on a créés précédemment, dans les deux premiers scénarios, nous avons considéré les véhicules avec le mode autonome et le dernier avec le mode interactif. La scénarisation est garantie la création et l'édition des scénarios. A partir de l'interface graphique nous allons spécifier les conditions initiales de la simulation. Il est possible de choisir la base de données qui sera utilisée et de spécifier la position, le type, l'itinéraire et le paramétrage des véhicules présents initialement dans le scénario, la conception des règles de scénarisation peut être programmée en utilisant soit le langage fonctionnel de

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

l'application, soit le langage Python. Dans notre application, l'algorithme de l'approche FCAA est programmé dans un fichier script défini dans le simulateur SCANer studio comme la figure 6.12 le montre.

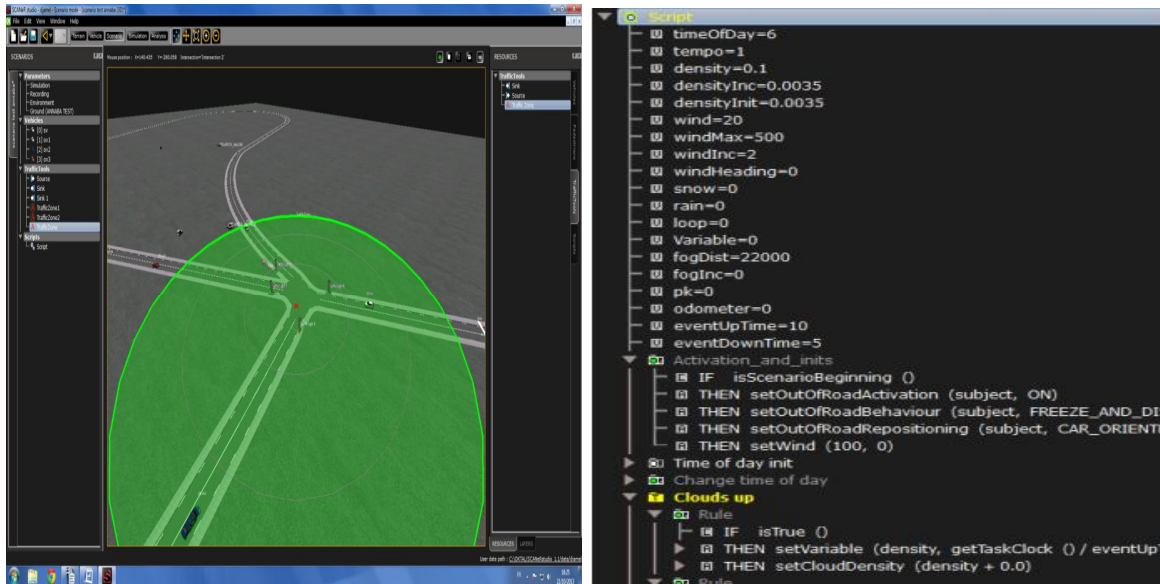


Figure 6.12 La représentation d'un scénario avec le script de l'approche FCAA

6.3.3.4 Mode simulation

Le mode « Simulation » permet de lancer une simulation des scénarios que nous avons spécifié au préalable. En effet, dans ce mode nous allons superviser en 3D l'évaluation d'un ou de plusieurs véhicules avec la possibilité de tout visualiser en changeant le plan de vue. Pour notre simulation, nous devons activer les modules de simulation nécessaire comme exemple : Trafic, scénario, Visual, Record, trafic-Tools etc. (voir la figure 6.13).

L'activation des deux modules *Trafic* et *Scénario* sont nécessaires pour une simulation primaire (Le module trafic gère le comportement des véhicules autonomes dans l'application.). L'activation de mode trafic-tools permet d'activer les outils spéciaux pour la gestion du trafic sur le scénario planifié, le mode *record* est utilisé juste si nous voulons récupérer des enregistrements vidéo, dans notre cas nous l'avons activé, afin d'évaluer exactement l'effet de notre approche de prédiction FCAA. La figure 6.13

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

représente une capture d'une simulation d'un scénario où l'effet de l'approche FCAA est montré par la réaction de véhicule SV.

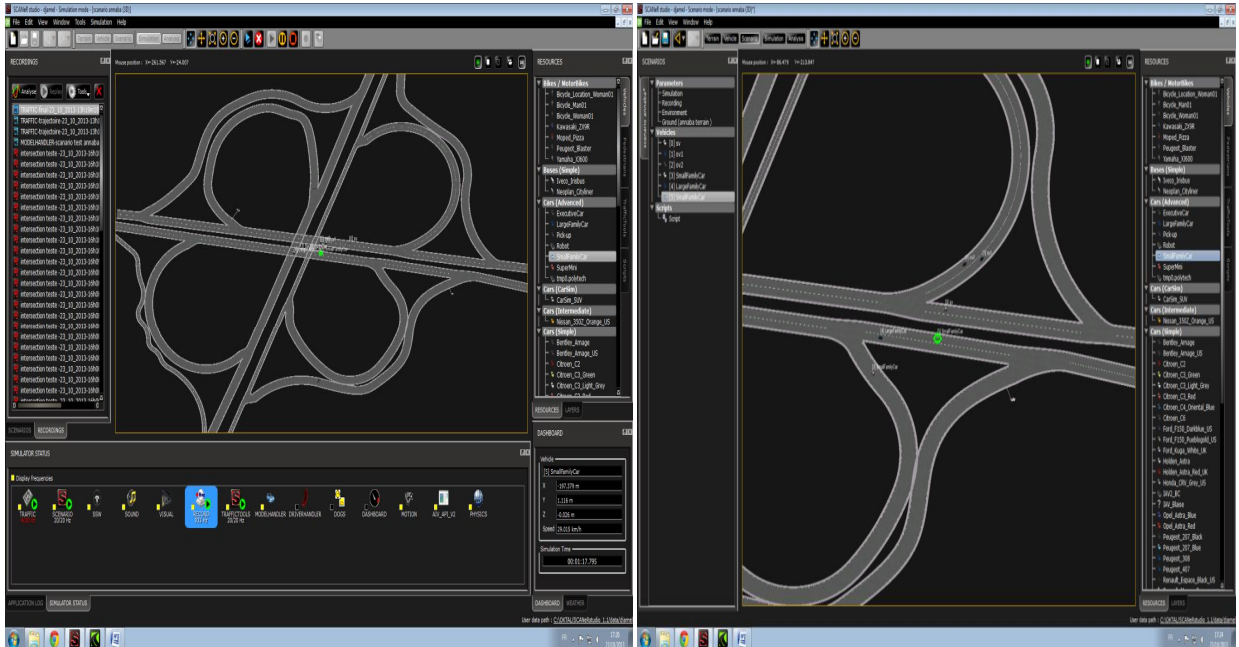


Figure 6.13 La représentation de mode simulation de notre approche proposée

6.3.3.5 Mode Analysis

Une fois la simulation est effectuée, toutes les données relatives à chaque véhicule peuvent être affichées et analysées dans le mode « Analysis ». En effet, on peut récupérer les données échangées entre les différents véhicules, permettant ainsi d'avoir un rendu sur la dynamique de l'approche FCAA proposée comme la figure 6.14 le montre. La simulation des scénarios génère 29 collisions sur lesquelles on applique l'approche FCAA. Nous avons généré des simulations sans et avec l'application de l'approche de prédiction, nous avons pu voir en temps réel les déplacements des véhicules, les requêtes échangés entre eux, et la réaction de véhicule SV pour l'évitement de la collision.

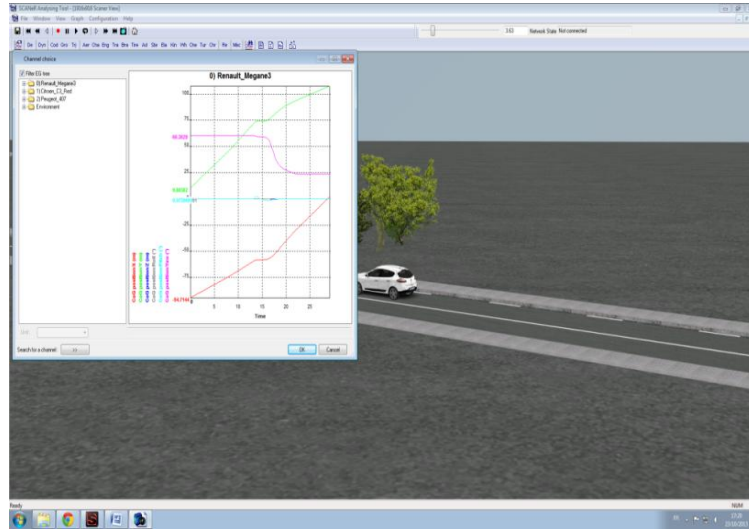


Figure 6.14 Une représentation d'un véhicule SV dans le mode Analysis

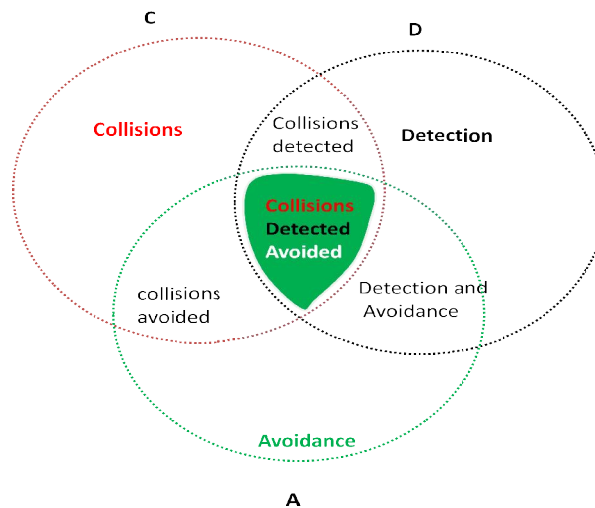


Figure 6.15 La représentation des ensembles des collisions détectées et évitées

L'espace C : représente l'ensemble des collisions générées, l'espace D : représente l'ensemble des collisions détectées, l'espace A : représente l'ensemble des collisions évitées.

$$X = C \cap D \cap A \quad (6.1)$$

X: représente l'ensemble des collisions détectées et évitées (voir la figure 6.15). Le nombre d'accidents générés dans la simulation des trois scénarios sont 29 collisions,

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

avec 25 collisions estimées (i.e. les accidents détectés par l'approche FCAA), l'application de notre approche de prédiction a réussi à éviter 22 collisions. Par contre nous avons juste 3 collisions détectées et non évitées, 4 collisions non détectées et non évitées.

Les résultats de l'évaluation ont montré que l'approche FCAA peut détecter et éviter 76% de collisions, nous avons juste 12% de collisions estimées que l'approche n'arrive pas à les éviter dû au retard ou perte des communications entre le véhicule SV et le véhicule voisin, et 12% de collisions générées, l'approche n'arrive pas à les détecter. La précision P de l'approche FCAA est calculée comme suit :

$$P = \frac{\text{Le nombre de collisions évitées (A)}}{\text{Le nombre de collisions générées (D)}} = \frac{22}{29} = 0.76$$

Plusieurs scénarios de simulation ont été utilisés dans le but de maximiser l'ensemble X et d'améliorer la précision de notre approche proposée.

6.4. Etude comparative

Dans cette section, nous présentons une analyse comparative des systèmes de détection de collision d'intersection existants (voir tableau 6.4). Les méthodes d'alerte et de détection de collision existantes ne sont pas efficaces parce qu'elles sont basées seulement sur la détection de collision et l'échange des alertes entre les véhicules. Néanmoins, l'approche FCAA proposée est basée sur la détection, la prédiction et l'action d'éviter cette collision, (Estimation, Génération des risques, Décision, Réaction). Cela ne signifie pas que les estimations doivent permettre la prévision des accidents avec exactitude, mais plutôt la distinction entre une situation à haut risque (déclenché la procédure d'évitement) et une situation à faible risque (pas de déclenchement). Nous avons identifié les avantages et les inconvénients des différentes approches comme le tableau ci-dessous le montre.

Chapitre 6 : Simulation, Tests, et Résultats

Tableau 6.4 représentation d'une étude comparative entre différentes approches

Approche	Description	Inconvénients	Avantages	C	D	W	A
VCWC Protocol (2004)	VCWC (Vehicular Collision Warning Communication protocol) est protocole de communication d'alerte de collision véhiculaire, ce protocole consiste à envoyer des messages d'alerte d'urgence (EWM : Emergency warning message) pour tout les véhicules qui sont potentiellement en danger quand un véhicule se comporte anormalement. L'objectif de ce protocole est d'obtenir faible latence lors de la délivrance des Message EWM dans des situations critiques.	Ce protocole suppose l'existence des véhicules anormaux AV (Abnormal vehicle) mais il traite pas comment ce véhicule devient comme un véhicule anormal L'envoi des alertes d'urgences (EWM) aurai du commencé avant d'un véhicule devient anormal (AV) Le protocole ne traite pas la procédure d'évitement de risque, il suffit juste des alertes d'urgences.	Le protocole VCWC peut supporter la délivrance de l'alerte EWM en un temps très réduit dans des scénarios critiques et même avec plusieurs véhicules anormaux AV Le protocole peut en effet soutenir le mécanisme de différenciation de messages et de sécurité. Touts les véhicules concernés par l'évènement vont recevoir le message d'alerte par la diffusion et même par la dissémination.	×	▪	▪	×
U&I (Aware Framework) (2007)	proposent une méthode pour l'acquisition de connaissances des accidents d'intersection et détection de collision en temps réel pour mettre en œuvre la sensibilisation à l'intersection ubiquitaire qui est basé uniquement sur des calculs de trajectoire.	La méthode de détection des collisions n'est pas efficace Il n'y a pas de l'approche de l'évitement de la collision	Un algorithme de détection de collisions est utilisé Intégration des systèmes d'alerte des intersections Une meilleure précision pour la détection des accidents	×	▪	▪	×
CCW protocol 2007	Le concept de protocole CCW (Cooperative Collision Warning) consiste à fournir aux conducteurs dans une telle situation, des alertes sous forme d'affichages de sensibilisation, toute en se basant sur des informations des mouvements des véhicules voisins obtenus par les communications sans fil DSRC.	Le système montre la détection et l'alerte des collisions mais pas comment les évitées	Le concept de coopération aide pour calculer le point de la collision estimée estimation point. Temps de collision (TTC) et la distance de collision (DTC) sont des paramètres pour déclencher l'alerte.	▪	▪	▪	×
CAAS protocol (2010)	Le protocole CAAS (Collision Avoidance Analysis Strategies) présente des stratégies d'alertes pour l'évitement des collisions sur la base d'une analyse et une synchronisation des événements. elle se base deux timings d'évitement de collision : le temps critique et le temps préféré pour éviter la collision.	Pour éviter une telle collision la stratégie de synchronisation de temps n'est pas satisfait, nous doit ajouter des paramètres externes supplémentaires tels que la distance à la collision. L'occurrence de la collision n'est pas estimée et n'est pas analysée, mais c'est une juste une supposition	Le protocole CAAS modélise les évènements de la collision pour éviter un risque potentiel et évaluer les stratégies d'atténuations par la méthode TAC (Timing Avoidance Collision) Le système CAAS envisage une collision et informe le conducteur avant son occurrence, il estime le danger et détermine le temps nécessaire pour donner la chance au conducteur à réagir.	×	×	▪	▪
FCAA (2013)	L'objectif principal de l'approche FCAA (Forecasting Collision Avoidance Approach) est l'estimation, détection d'une collision possible en utilisant modèle cinématique et avertit ses voisins au sujet de la façon de réagir pour éviter cette collision	L'approche d'évitement de collision ne supporte pas un nombre important de véhicules. L'approche de prédiction suggérée est conçue pour des scénarios d'intersections de type Y.	L'approche de prédiction des collisions utilise le modèle cinématique de véhicule. Le système d'alerte d'intersection pour la détection de collision est conçu. L'approche d'évitement de collision est simulée et validé sur un scénario réel.	▪	▪	▪	▪

6.5. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons validé notre approche de communication et de prédiction par deux tests de simulations, le premier test est validé par Matlab Simulink dont l'objectif est l'évaluation de notre approche proposée analytiquement. Concernant la deuxième simulation nous avons choisi le simulateur SCANeR studio qui est destiné aux simulations temps réel et nous l'avons jugé parfait pour simuler des scénarios de déplacement de véhicules s'approchant extrêmement de la réalité. Les terrains de simulation sont extraits à partir des intersections de la ville d'Annaba. L'objectif de ce deuxième test est l'intégration de l'approche de prédiction dans plusieurs scénarios réels avec l'utilisation de la communication V2V, nous avons constaté que l'effet de l'approche FCAA dans l'évitement des collisions est validé avec une précision d'évitement qui atteint les 76%.

7.1. Conclusion générale

Les réseaux de véhicules et les systèmes de transport intelligents n'en sont qu'à leurs balbutiements. Malgré toutes les évolutions dans le domaine des systèmes de transport intelligents, il lui manque beaucoup de progrès au niveau de la sécurité routière. Les communications dans les réseaux VANET est encore un domaine très actif, mais à ce moment, peu de protocoles de communication sont spécifiquement conçus pour les réseaux véhiculaires. Il faut donc encore une fois adapter des mécanismes et des protocoles spéciaux à ce contexte particulier et qui répondent aux exigences et spécificités de ces réseaux. La mise en œuvre réelle des réseaux véhiculaires fait de la simulation le moyen le plus largement utilisé pour la conception et l'évaluation des solutions proposées. Le sujet abordé dans cette thèse concerne la modélisation et la simulation de l'approche de communication et de prédiction proposée FCAA (Forecasting Collision Avoidance Approach) dans un environnement véhiculaire, le concept de cette proposition est basé sur l'estimation, l'alerte et l'évitement de collisions (Estimation, Génération des risques, Décision, Réaction). Dans cette conclusion, les travaux de recherche menés sur les différents aspects de la thèse et les perspectives possibles des travaux futurs sont présentés.

7.2. Travaux réalisés

Le projet de notre thèse s'est investi dans un domaine de recherche d'actualité, à savoir les réseaux véhiculaires et leur apport à la sécurité routière. Les travaux de recherches portent sur les réseaux véhiculaires. La collision et sa prévention dans ce type de réseaux est une problématique très intéressante par sa dimension humaine et économique. De ce fait nous avons apporté des modèles de simulations pour prévenir ce type d'événement durant le trafic routier.

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés aux problématiques de communications liés aux réseaux de véhicules. L'objectif principal consiste à proposer une nouvelle approche de prédiction, basée sur les communications entre véhicules, et

Chapitre 7 : Conclusion et perspectives

l'adapter aux caractéristiques de ces réseaux et aux applications de détection, d'alerte et d'évitement des collisions. Ce qui nous permet d'estimer un nombre important de situations du risque de collision, cela ne signifie pas que ces estimations doivent permettre la prévision des accidents avec exactitude, mais plutôt la distinction entre une situation à haut risque (collision) et une situation à faible risque (pas d'accident).

Dans un premier temps, nous avons présenté les principaux concepts des systèmes de transports intelligents (STI) : le contexte, le principe de fonctionnement, les services et leurs domaines d'applications, soit des services associés aux systèmes de transports intelligents comme les services dits de la sécurité routière (les applications de surveillance et d'alertes sur des dangers potentiels), soit des services d'information liés au confort du conducteur (conditions météorologiques, état de la route, état opérationnel d'un véhicule, etc.). Les architectures, les normes ainsi qu'une étude de cas d'une application de STI qu'est déployée au Japon ont été présentées. De très nombreuses applications ont été déployées dont le but est d'améliorer la sécurité, l'efficacité et la convivialité dans les transports routiers. La conception d'une architecture pour une application de STI est l'étape la plus importante pour assurer la réussite du déploiement et l'exploitation de cette application. Cette étude de cas fait une description d'un projet VICS (système d'information et de communication pour les véhicules), ce projet consiste à fournir des informations précises et opportunes en temps réel aux automobilistes pour remédier aux embouteillages, l'itinéraire le plus court et le mieux adapté. La relation entre les STI et la sécurité routière a été discuté. Cependant la sécurité routière reste toujours un sujet transversal dans le domaine des transports, elle concerne l'ensemble des connaissances, dispositifs et mesures visant à éviter les accidents de la route. Les STI peuvent contribuer directement ou indirectement à la sécurité routière. Les premières contributions reposaient sur des systèmes de sécurité passive qui sont des équipements permettant de sauver des vies et de limiter les dégâts occasionnés lors d'accidents. Toutefois, ils n'empêchent en aucun cas l'évitement des accidents. De plus en plus nous avons constaté un passage vers ce qu'on appelle la sécurité active .i.e. développer des équipements qui minimisent ou évitent les accidents en offrant une meilleure visibilité de la situation, en avertissant le conducteur des

Chapitre 7 : Conclusion et perspectives

dangers, en agissant directement sur les commandes du véhicule, et même perfectionner sa réaction envers un risque potentiel.

Nous avons également regroupé un état de l'art très important autour de ces réseaux VANET en termes de projets de recherches, approches et modèles. Les technologies de communications WiMax (*World wide Interoperability for Microwave Access*), les réseaux cellulaires et les réseaux satellitaires sont proposés pour assurer les communications à longue portée. Dans cette étude nous avons utilisé une nouvelle technologie de communication, dédiée spécifiquement aux STI. Cette technologie, nommée DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), supporte les communications à moyenne et à courte portée qui peuvent être de véhicules-à-infrastructure (V2I *Vehicle-to-Infrastructure*) ou en mode ad hoc de véhicule-à-véhicule (V2V *Vehicle-to-Vehicle*). L'état de l'art c'est étendu aux simulateurs utilisés et appropriés au domaine des réseaux véhiculaires, des contributions très prometteuses sur le plan des modèles et des résultats de simulations, validées par des scénarios tirés de la ville d'Annaba. Nous avons simulé le trafic routier avec des simulateurs usuels tels que : MOVE, SUMO et Ns2. Plusieurs scénarios réels sont générés selon deux métriques : la charge du réseau (chargé, moyen et faible) et le protocole de transport utilisée (à savoir TCP ou UDP), nous avons évalués deux protocoles de routages (AODV et DSDV) selon la bande passante, le taux de réception, le taux de perte, et le délai de bout en bout.

La conception et la modélisation du système de communication proposé dans un réseau VANET est présenté. Cette conception est basée sur la modélisation cinématique du véhicule, deux approches ont été détaillées : la première est basée sur le modèle cinématique de type bicyclette (avec seulement deux roues) et la deuxième est basée sur le modèle cinématique de type véhicule (avec quatre roues). La notion de l'estimation des paramètres microscopiques (position, vitesse et la direction) est la clé de l'architecture proposée. Dans cette thèse nous avons étudié deux approches d'estimation, la première est basée sur la modélisation cinématique et la deuxième basée sur la méthode de filtre du Kalman. Cette architecture de communication proposée est basé sur le modèle cinématique de type véhicule et la méthode de filtre du Kalman dans les estimations des trajectoires. La communication des messages est établie entre des entités

Chapitre 7 : Conclusion et perspectives

du même réseau : le véhicule en question (SV) et ses véhicules voisins (OV), cette communication est garantie à l'aide de la technologie de communication DSRC que nous avons détaillé. Nous nous sommes intéressés dans cette thèse à la conception, modélisation et simulation d'une approche de prédiction FCAA (Forecasting collision Avoidance Approach), cette approche est basée sur la détection, la prédiction et l'évitement de la collision. L'approche proposée a été validée par deux tests de simulations des scénarios d'intersections réels extraits de la ville d'Annaba, le premier test validé par Matlab Simulink dont l'objectif est l'évaluation de l'aspect de notre approche proposée analytiquement, la deuxième simulation est validée par le simulateur SCANeR studio qui est destiné aux simulations temps réel. Ce simulateur est parfait par rapport aux nouvelles fonctionnalités qu'il apporte pour simuler des scénarios d'intersections s'approchant extrêmement de la réalité. Les terrains de simulation sont extraits à partir de la cité des Allemands (ville d'Annaba). L'objectif de ce deuxième test est l'intégration de l'approche de prédiction dans plusieurs scénarios réels avec l'utilisation de la communication V2V. Les résultats obtenus démontrent que l'approche FCAA dans l'évitement des collisions est validée avec un taux significatif.

7.3. Perspectives

Dans la continuité du travail de recherche présenté, nous pourrions approfondir notre étude afin d'améliorer les résultats obtenus. Plusieurs perspectives futures peuvent être proposées à la suite de ce travail :

- L'extension de l'approche de communication et de prédiction proposée à tous les véhicules du réseau (établir un système distribué).
- La seconde perspective concerne l'implémentation de l'approche sur le terrain, avec le simulateur SCANeR.

Bibliographies

- [1609.1., 2006] IEEE P1609.1 SWG, *IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*, Resource Manager, IEEE Computer Society, 2006.
- [1609.2., 2006] IEEE P1609.2 SWG, *IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)*, Security Services for Applications and Management Messages, IEEE Computer Society, 2006.
- [1609.3., 2010] IEEE 1609.3 SWG, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), *Networking Services. IEEE Computer Society*, 2010.
- [1609.4., 2010] IEEE 1609.4 SWG, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE), *Multichannel Operation. IEEE Computer Society*, 2010
- [Abuhadrous., 2005] I.Abuhadrous, « système embarqué temps réel de localisation et de modélisation 3D par fusion multi-capteurs », Phd thesis, école des Mines de Paris, 2005.
- [Ait-Ali., 2013] K. Ait-Ali, Modélisation et étude de performances dans les réseaux VANET, These de Doctorat, Université de technologie Belfort-Montbéliard, 2013.
- [Andrisano et al., 2000] O. Andrisano, M. Nakagwa, R. Verdone, Intelligent transportation systems : The role of the third generation mobile radio networks, IEEE Communication Magazine, Septembre 2000.
- [Appert & Santen., 2002] C.Appert & L.Santen, Modélisation du trafic routier par des automates cellulaires. Actes INRETS 100 et Ecole d'automne de modélisation du trafic, 2002.
- [Bai et al., 2006] F. Bai , H. Krishnan, V. Sadekar, G. Holl, and T. Elbatt, Towards characterizing and classifying communication-based automotive applications from a wireless networking perspective, Proc. IEEE Workshop on Automotive Networking and Applications, 2006.
- [Bayle., 2011] B.Bayle « Robotique Mobile », Chapitre, école nationale supérieur de physique de Strasbourg 2010-2011.
- [Bektache et al ., 2014] D.Bektache., C.Tolba, and N.Ghoulmi-Zine, (2014) 'Forecasting approach in VANET based on vehicle kinematics for road safety', *Int. J. Vehicle Safety*, Vol. 7, No. 2, pp.147–167.

Bibliographies

[**Belarbi., 2004**] F.Belarbi, les systemes de communication entre les vehicules et l'infrastructure: leur contribution aux pratiques d'exploitation de la route, l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, septembre 2004.

[**Benoit., 2009**] L.Benoit, La différenciation comportementale par les normes, et son application au trafic dans les simulateurs de conduite, thèse de doctorat, Université des sciences et technologies de Lille, 2009

[**Boccara et al., 1997**] N. Boccara, H. Fuks, and Q. Zeng. J. Phys. A, 30(3329), 1997.

[**Borgonovo et al., 2003**] F. Borgonovo., L. Campelli, M. Cesana., L. Coletti., et P. Milano.,Mac for ad-hoc inter-vehicle network : services and performance. In Proceedings of the Vehicular Technology Conference (VTC'03), pages 2789-2793, 2003.

[**Bouchemal et al., 2014**] N.Bouchemal, R.Naja et S.Tohme, Traffic modeling and performance evaluation in vehicle to infrastructure 802.11p network, Ad Hoc Networks, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunication Engineering, Springer Link, Volume 129, pp 82-99, 2014.

[**Bristeau., 2011**] P-J. Bristeau., Techniques d'estimations du déplacement d'un véhicule sans GPS et d'autres exemples de conception de systèmes de navigation MEMS, Thèse de Doctorat, Ecole nationale supérieure des Mines Paris, 2011.

[**Buisson & Strada., 1996**] J.-P. Lebacque Buisson C. and J.-B Lessor. Strada, a discretized macroscopic model of vehicular traffic flow in complex networks based on the godunov scheme. Computational Engineering in Systems Applications., pages 976–981, 9-12, July 1996.

[**Campion et al., 1996**] G. Campion., G. Bastin et B. D'Andréa-Novel., Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pages 47–62, 1996.

[**Clausen & Jacquet., 2003**] T. Clausen, P. Jacquet, Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), IETF Request for Comments, RFC 3626, October 2003

[**Costeseque., 2011**] G. Costeseque, Modélisation du trafic routier : passage du microscopique au macroscopique, Mémoire de Master- MEGA – Génie Civile, 2011

Bibliographies

[**Dobias & Baret, 2005**] G.Dobias et F.Baret. , Propositions pour fédérer les stratégies de développement des ITS en France. ITS France, 2005.

[**Dudek & Jenkin., 2000**] G. Dudek et M. Jenkin., Computational principles of mobile robotics., Cambridge University Press, 2000.

[**Favier et al., 2004**] F.Frédéric, H.Jorge et F.Thierry, détection de collisions en contexte automobile, Rapport de TER, INRIA dans le cadre du projet e-MONTION, 2004

[**Faye et al., 2011**] S.Faye, S.Chaudet and I.Demeure, Contrôle de trafic routier urbain par un réseau fixe de capteurs sans fil, Rapport Technique 2^{ième} Version, Istitut Télécom ParisTech, Février 2011 http://service.tsi.telecom-paristech.fr/cgi-bin/valipub_download.cgi?dId=248

[**Festage et al., 2004**] A.Festag., H.F`u_ler., H.Hartenstein, A.Sarma et R. Schmitz, “FleetNet: Bringing cartocar communication into real world,” in the Proceedings of the Eleventh World Congress on Intelligent Transportation Systems (ITS '04), Nagoya, Japan, October 2004.

[**Fiore & di Torino, 2006**] M. Fiore, P. di Torino Mobility Models in Inter-Vehicle Communications Literature, Technical report, November 2006.

[**Gazis et al., 1961**] D. C. Gazis, R. Herman, and R. Rothery. Non-linear follow -the-leader models of traffic flow. Opns. Res., 9(545), 1961.

[**Gerla et al., 2001**] M. Gerla, X. Hong, and G. Pei, Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks, IETF Internet, draft-ietf-MANET-fsr -02.txt, Décembre 2001.

[**Gillespie., 1992**] T. Gillespie., Fundamentals of vehicle dynamics, Society of Automotive Engineers (SAE), 1992.

[**Granelli et al., 2006**] F. Granelli, G. Boato, and D. Kliazovich, “MORA: a Movement-Based Routing Algorithm for Vehicle Ad Hoc Networks,” in *Proc. of 1st IEEE Workshop on Automotive Networking and Applications (AutoNet 2006)*, San Francisco, USA, Dec. 2006.

[**Haerri et al., 2006**] J. Haerri, M. Fiore, F. Filali, C. Bonnet, “VanetMobiSim: generating realistic mobility patterns for VANETs”, *ACM Int. Wrkshp on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, Sept. 2006.

Bibliographies

[**Herman et al., 1959**] R. Herman, E. W. Montroll, R. B. Potts, and R. Rothery. Traffic dynamics : Analysis of stability in car-following. *Opns. Res.*, 7(86), 1959.

[**Jacobs., 2006**] René Jacobs, « les systèmes de transport, intelligent une tentative de synthèse », centre de recherche routière, publication de synthèse, 2006.

[**Jerbi., 2008**] M. Jerbi, *Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain :Routage et GeoCast basés sur les intersections*, Thèse de doctorat, Univirsité d'Evry Val D'essonne, Novembre 2008.

[**Johnson et al., 2004**] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Y-C. Hu, The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR), Internet draft , : <draft-ietf-manetsdr-10.txt>, 19 Juillet 2004.

[**Johnson & Maltz, 1996**] D.B. Johnson and D.A. Maltz, Dynamic source routing in ad hoc wireless networks ». 0RELOH_ &RPSXWLQJ__ 7RPDV]_ ,PLHOLQVNL_ DQG_ +DQN_ .RUWK_ HGLWRUV, Kluwer Academic Publishers, vol 353, p. 153-181, 1996.

[**Karnadi et al., 2007**] F. Karnadi, Z. Mo, K. Lan, Rapid generation of realistic mobility models for VANET, in: Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Kowloon, pp. 2506–2511, March 2007.

[**Lebrun et al., 2005**] J. LeBrun, C.N. Chuah, D. Ghosal, M. Zhang, Knowledge-based opportunistic forwarding in vehicular wireless ad hoc networks, Proceedings of the 61st IEEE Vehicular Technology Conference (VTC), vol. 4, pp. 2289-2293, 2005.

[**Leontiadis et al., 2007**] I.Leontiadis, C. Mascolo, GeOpps: Geographical Opportunistic Routingfor Vehicular Networks, IEEE International Symposium on World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, Espoo, Finland, pp. 1-6, 2007.

[**Lighthill & Whitham**] J. Lighthill and J. B. Whitham. On kinetic waves, a theory of traffic flow on long crowded roads. *Proc. Royal Society*, A229 :pp. 281{345, 1955.

[**Lochert et al., 2003**] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, D. Herrmann, H. Füßler, M. Mauve, "A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments",

Bibliographies

IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2003), pp. 156-161, Columbus, OH, USA, June 2003.

[**Lochert et al., 2004**] C. Lochert, M. Mauve, H. Füßler, H. Hartenstein, "Geographic Routing in City Scenarios", *MobiCom 2004*.

[**Lowrie., 1982**] P.R. Lowrie, *The Sydney Coordinate Adaptive Traffic System – Principles, Methodology, Algorithms*. Actes de la conférence internationale de l'IEE sur la signalisation routière, Londres, 1982.

[**Maria & Marti., 2005**] J.Maria & C.Marti, "Position Estimation and control of an autonomous vehicles", Master thesis, EPFL , ETSEIB2, Lausanne ,Switzerland;jun. 2005.

[**Morin & Samson., 2003**] P. Morin et C. Samson. Introduction à la commande par retour d'état des systèmes non-holonômes. Ecole des Mines de Paris, 2003

[**Mo et al., 2006**] Z. Mo, H. Zhu, K. Makki and N. Pissinou, "MURU: A Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks", *MobiQuitous 2006*.

[**Martinez et al., 2008**] 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 (VehiMobi, held with ICC). Beijing, may, 2008.

[**Mokhtari., 2000**] M.Mokhtari., MATLAB 5.2 & 5.3 et SIMULINK 2&3 pour étudiants et ingénieurs, Livre, Springer-Verlage Berlin Hiedelberg New Yourk, ISBN 3-540-66649-4, 2000

[**Moustafa et al., 2009**] H. Moustafa, S.M. Senouci, M.Jerbi "Introduction to Vehicular Networks", Book Chapter Title : Vehicular Networks: Techniques, Standards and Applications, *Publisher: Auerbach Publications – CRC Press (Taylor & Francis Group)*.

[**Meraihi., 2011**] Y. Meraihi, Routage dans les réseaux véhiculaires (VANET) : cas d'un environnement de type ville, These de Magister, Université de Boumerdes, 2011.

[**Moustafa & Bourdon., 2008**] H. Moustafa, G. Bourdon, *Vehicular Networks Deployment View: Applications, Deployment Architectures and Security Means,*" Ubiquitous Computing and Communication Journal, special issue on Ubiquitous Roads, March 2008.

Bibliographies

- [**Morgan., 2010**] Y-L.Morgan., Novel Issues in DSRC vehicular communication radios, University of Regina, Vehicular Technologies, IEEE Canadian review N°63, 2010
- [**Nagel & Schreckenberg, 1992**] K. Nagel and M. Schreckenberg. A cellular automaton model for freeway traffic. *J. Phys. I*, 2:2221–2229, 1992.
- [**Neumann et al., 1996**] J.v. Neumann, Arthur W. Burks, *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press (1966)
- [**Ogier et al., 2004**] R. Ogier, F. Templin, M. Lewis, « Topology Dissemination Based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF), IETF Request for Comments, RFC 3684, Février 2004
- [**plainchault., 2005**] P.Plainchault, sécurisation de la conduite par communication véhicule infrastructure a base de transpondeurs, institut national polytechnique de toulouse, Février 2005.
- [**Pekins et al., 2003**] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, and S. Das, Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF RFC 3561, 2003.
- [**Park et al., 2012**] C-K.Park., M-W.Ryu., K-H.Cho., *Survey of MAC protocols for vehicular Networks*, Smart Computing Review, Vol 2, N° 4, pp 286-295, 2012
- [**Qian et all., 2008**] Y.Qian, K.Lu, et N.Moayeri, A secure vanet mac protocol for dsrc applications, IEEE Global Telecommunications Conference Publication, New Orleans-LO, 2008
- [**Rezaei et al., 2010**] S.Rezaei, R. Sengupta, H. Krishnan, X. Guan, R. Bhatia, “Tracking the Position of Neighboring Vehicles Using Wireless Communications,” *Journal of Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol. 18 , issue 3, pp. 335–350, 2010.
- [**Richards., 1956**] P. I. Richards. Shock waves on the highway. *Operations Res.*, 4(42), 1956.
- [**Robertson et Bretherton., 1991**] D.I. Robertson et R.D. Bretherton, Optimising networks of Traffic Signals in Real-Time – the SCOOT Method, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 40, 1991.

Bibliographies

[**Robertson et Hunt., 1982**] D.I. Robertson et PB Hunt, A Method of Estimating the Benefit of Coordinating Signals by TRANSYT and SCOOT, *Traffic Engineering and Control*, 23, 1982.

[**Rupprecht et al., 2003**] S. Rupprecht., *ATLANTIC Practioners Handbook for TTI Service Implementation in European Cites and Regions. Commission européenne, projet ATLANTIC, DG INFSO, 2003.*

[**Salhi et al., 2008**] I. Salhi, S.M. Senouci, Y. Gourhant, *collecte d'informations dans un réseau de véhicules*, Rapport de stage-Mémoire de Master, Avril-Septembre 2008.

[**Salim et al., 2007**] F.D. Salim, S.W. Loke, A. Rakotonirainy, B. Srinivasan and S. Krishnaswamy, "Collision pattern modeling and real-time collision detection at road intersections". In Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC),, pages 161–166. IEEE, 2007.

[**Schroth et al., 2005**] C. Schroth, F. Dötzer, T. Kosch, B. Ostermaier and M. Strassberger, Simulating the traffic effects of vehicle-to-vehicle messaging systems. Proc. of 5th Inter-national Conference on ITS Telecommunications, Brest, France, 2005.

[**Seet et al., 2004**] B-C. Seet, G. Liu, B.S. Lee, C. H. Foh, K. J. Wong, K.-K. Lee, A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications, *NETWORKING*, pp 989-999, 2004.

[**Sengupta et al., 2007**] R. Sengupta, S. Rezaei, S. E. Shladover, J. A. Misener, S. Dickey, H. Krishnan, "Cooperative Collision Warning Systems: Concept Definition and Experimental Implementation," *Journal of Intelligent Transportation Systems*, vol.11,No.3, pp. 143-155, 2007.

[**Senouci et al., 2006**] R. Meraihi, S.M. Senouci, D. Meddour et M. Jerbi, Chapitre Livre: *Communications véhicule à véhicule: applications et perspectives*, Titre de Livre : "Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteurs sans fil", Editeur : *Hermes Science Publications*, Février 2006.

[**Senouci & Mohamed-Rasheed., 2005**] S-M Senouci, T. Mohamed-Rasheed, Modified Location-Aided Routing Protocols for Control Overhead Reduction in Mobile Ad Hoc

Bibliographies

Networks, Network Control and Engineering for QoS Security and Mobility (NetCon 2005), Lannion, France, November 2005.

[Sims et al.,] A.G. Sims *et al*, *SCATS – Application and Field Comparison with a TRANSYT Optimised Fixed Time System*.

[Tang et al., 210] A.Tang and A.Yip, “collision avoidance timing analysis of dsrc – based vehicles”, *Journal Accident Analysis and Prevention* 42 pp.182-195,2010.

[Yang et al., 2004] X.Yang, J.Liu, F.Zhao and N.H.vaidya, “A vehicle –to –vehicle communication protocol for cooperative collision warning” in *Proc. The First Annual Conference on Mobile and Ubiquitous Systems (MOBIQUITOUS)*, Boston, USA, Aug. 2004, pp. 114–123.

[Yunpeng et al., 2008] Z. Yunpeng, L. Stibor, H.J. Reumerman, and C.Hiu, Wireless local danger warning using inter-vehicle communications in highway scenarios, *Proc. 14th European Wireless Conf.*, pp. 1-7, doi: 10.1109/EW.2008.4623905, 2008.

[Wissam., 2012] K.Wissam, contribution à la modélisation graphique de système de systèmes, thèse de doctorat, Université lille 1, 2012

Webographies

[**AUTO21., 2008**] The automobile of the 21st century. http://www.auto21.ca/home_f.html. [En ligne - Page disponible le 16 Janvier 2013]

[**CERTU., 1998**] C.Chanet, les communications dédiées à courte distances _ DSRC (Dedicated Short Range Communication), Rapport d'étude sur la route intelligente, 1998. <http://lara.inist.fr/handle/2332/981> (L'accès au fichier PDF)

[**Etude de cas., 2013**] : <http://www.vics.or.jp/english/vics/> [Page disponible le 14Decembre-2013].

[**Geonet., Site 2013**] <http://www.geonet-project.eu/>

[**SUMO., 2007**] SUMO- Simulation of Urban Mobility,2007, <http://sumo.sourceforge.net/>

[**CORSIM ., 2010**] TSIS- CORSIM Traffic Software Integrated System – Corridor Simulation <http://mctrans.ce.ufl.edu/featured/tsis/>

[**PARAMICS., 2008**] Quadstone Paramics, <http://www.paramicsoline.com/>

[**Car2Car., 2002**] Car-to Car cooperation for vehicular ad-hoc networks. An AquaLab Project 2002, <http://www.aqualab.cs.northwestern.edu/projects/C3.html>

[**VII., Site**] Vehicle Infrastructure Integration - VII, <http://www.its.dot.gov/vii/>.

[**VSC.,2011**] Vehicle Safety Communication, Raport DOT. HS 811 492D, 2011 <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/CAMP3/pages/VSCC.htm>

[**Trans_Intel., 2014**] <http://www.transport-intelligent.net/champs-des-sti/securite-routiere/#article358> Page disponible le 7-Fevrier-2014].

[**Trans., 2013**] <http://lca.eplf.ch/projects/trans>

FleetNet project- Internet on the road, <http://www.et2.tuharburg.de/fleetnet>

[**SafeSpote., Site**] SafeSpot (Cooperative vehicles and road infrastructure for road safety), <http://www.safespot-eu.org/>

[**NCTU., 2013**] <http://nsl.csie.nctu.edu.tw/nctuns.html>

[**NHTSA., 1997**] National Highway Traffic Safety Administration, ITS Joint Program Office, US Department of Transportation, Washington, DC, January 1997. <http://www.nhtsa.dot.gov>.

[**NOW., Site 2014**] NoW (Network-on-Wheels), <http://www.network-on-wheels.de>

[**Prevent., Site**] Prevent, <http://www.prevent-ip.org/>

Webographies

[Manuel1., 2013] 'Que sont les systèmes de transport intelligents', Manuel sur les STI http://roadnetworkoperations.piarc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=38&Itemid=71&lang=fr, [En ligne ; Page disponible le 09-décembre-2013].

[Manuel2., 2013] 'Comment fonctionnent les STI' Manuel sur les STI http://roadnetworkoperations.piarc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=40&Itemid=71&lang=fr, Page disponible le 7-décembre-2013].

[Manuel3., 2013] 'Qu'en est-il de l'architecture et des normes des STI', Manuel sur les STI, http://roadnetworkoperations.piarc.org/index.php?option=com_content&task=view&id=41&Itemid=71&lang=fr, Page disponible le 7-décembre-2013].

Liste des Publications Scientifiques

➤ *Revue internationale*

- [1] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi, 'Forecasting approach in VANET based on vehicle kinematics for road safety', Int. J. Vehicle Safety, ISSN: 1479-3105 Vol. 7, No. 2, pp.147-167. (2014)

➤ *Conférences internationales avec actes édités*

- [2] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi, ' Forecasting Approach in VANET based Vehicle Collision Alert', International IEEE Conference Publication on Multimedia Computing and Systems, (ICMCS'12), ISBN: 978-146-731519-7, Tangiers-Morocco. IEEE Explore Digital Library: 10.1109/ICMCS.2012.6320231 , pp 573 – 577. (2012)

➤ *Conférences internationales spécialisées*

- [3] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi , "Modeling and Simulation a Vehicular Communication Protocol in VANET Network", International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT), in proceeding ,Sousse, Tunisia, 29-31 Mai (2013).
- [4] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi, 'Implementation of an Estimation System of the Vehicle Parameters Using the Kinematic Model for Road Safety', International Conference on Information systems and Technologies (ICIST'12), Sousse, Tunisia, 24-26 March (2012).

➤ *Manifestations nationales*

- [5] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi, 'Application et Modélisation de la Communication Véhicule à Véhicule pour la Sécurité Routière', Journées Thématiques sur les réseaux et Systèmes pour les applications Critiques de surveillance (RSACS'11), Oran, Algérie, 22-23 juin (2011).
- [6] D.Bektache, C.Tolba, N.Ghoualmi, 'Les applications de la communication inter-Véhiculaire pour la sécurité routière ', 5^{ème} Forum de Béjaïa « L'université et le monde productif » Bejaïa, Algérie, 27-30 juin (2011).