



**HAL**  
open science

# Conception d'un système d'alerte embarqué basé sur les communications entre véhicules

Nadeen Salameh

► **To cite this version:**

Nadeen Salameh. Conception d'un système d'alerte embarqué basé sur les communications entre véhicules. Autre [cs.OH]. INSA de Rouen, 2011. Français. NNT : 2011ISAM0016 . tel-00722227

**HAL Id: tel-00722227**

**<https://theses.hal.science/tel-00722227>**

Submitted on 1 Aug 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Institut National des Sciences Appliquées de Rouen

Laboratoire d'Informatique, du Traitement de l'Information et des Systèmes

# Thèse de doctorat

*Discipline : Informatique*

présentée et soutenue le 4 Novembre 2011 par

**Nadeen SALAMEH**

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR DE L'INSA DE ROUEN

## Conception d'un système d'alerte embarqué basé sur les communications entre véhicules

soutenue devant le jury composé de :

M. Jean LE BIHAN	(Rapporteur)	Professeur, RESO, ENIB de Brest
M. Iyad DAYOUB	(Rapporteur)	Maître de Conférences HDR, IEMN, U.Valenciennes
M. Fawzi NASHASHIBI	(Examineur)	HDR, Responsable du groupe IMARA, INRIA
M. Frédéric GUINAND	(Examineur)	Professeur, LITIS, U. Le Havre
M. Abdelaziz BENSRAHAI	(Directeur)	Professeur, LITIS, INSA de Rouen
M. Stéphane MOUSSET	(Encadrant)	Maître de Conférences, LITIS, U. de Rouen

*A ma patrie bien-aimée, La SYRIE*

*A mes parents*

*A ...*

# Remerciements

Cette thèse a été effectuée au sein de l'équipe STI du laboratoire LITIS à l'INSA de Rouen. Le travail de ma thèse pendant quatre ans m'a conduit d'une part d'apercevoir les aspects positifs de recherche scientifique et d'approfondir ma connaissance au domaine de communications entre véhicules. D'autre part, elle m'a permis de vivre le travail en équipe et de m'intégrer dans une société accueillante et très riche en histoire et culture. En fin, cette thèse n'était pas seulement une expérience scientifique très riche mais aussi une grande expérience humaine pour moi.

La présente thèse n'aurait pas été possible sans le bienveillant soutien de certaines personnes qui ont contribué au bon déroulement de cette thèse. Et je ne suis pas non plus capable de dire dans les mots qui conviennent, le rôle qu'elles ont pu jouer à mes côtés pour en arriver là. Cependant, je voudrais les prier d'accueillir ici tous mes sentiments de gratitude qui viennent du fond de mon cœur, en acceptant mes remerciements.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur **Stéphane CANU**, directeur du Litis, de m'avoir accueilli dans ce laboratoire.

Je voudrais exprimer ma gratitude à Monsieur **Jean LEBIHAN**, Professeur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Brest (ENIB) et à Monsieur **Iyad DAYOUP**, Maître de Conférences et HDR au laboratoire IEMN à l'université de Valenciennes, pour le temps précieux qu'ils m'ont consacré en acceptant d'être membres de comité de l'évaluation de ma thèse ainsi que leurs conseils pour l'avancement de ce travail. Je les remercie spécialement pour l'honneur qu'ils m'ont fait d'avoir acceptés la lourde tâche de rapporteurs. J'adresse également mes sincères remerciements à Monsieur **Fawzi NASHASHIBI**, Directeur du Centre de recherche de la robotique- Paris Tech Mines pour le temps qu'il m'a accordé en acceptant d'être examinateur de ma thèse. Je suis reconnaissant à Monsieur **Frédéric Guinand** pour l'honneur d'être examinateur de ma thèse et aussi l'honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury de cette soutenance de thèse.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur le professeur **Abdelaziz BENSRAHAI**, qui m'a accueillie au sein de son équipe de recherche STI au laboratoire LITIS. Il m'a confié ce travail en tant que directeur de thèse. Je le remercie pour la confiance qu'il m'a accordée, sa gentillesse, son soutien, ses généreux secours au cours de certains de mes moments difficiles ont été d'une très grande qualité, ses conseils sur le déroulement de ma thèse et sa grande disponibilité tout au long de ces travaux. Qu'il trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.

Mes plus chaleureux remerciements s'adressent à Monsieur **Stéphane MOUSSET**, Maître des conférences à l'université de Rouen et encadrant de cette thèse. Pour son aide précieuse, ses conseils avisés, son soutien constant, sa patience, son écoute, sa connaissance scientifique et technique, sa confiance et les nombreux encouragements qu'il m'a apportés dans la réalisation de ce travail en me guidant pour que je puisse arriver à la fin de mon chemin de la recherche. Je le

remercie également pour le temps qu'il a consacré à corriger mon manuscrit de thèse. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

A Monsieur **Jean François BRULARD**, technicien du LITIS pour ses services rendus, son aide technique apportée tout au long de mes études. Je remercie également Sandra **HAGUE** et Brigitte **DIARA** pour leurs services et leur accueil sympathique.

**A l'Université d'Albaath en Syrie:**

Pour m'avoir accordé la bourse qui m'a permis de continuer mes études supérieures en France et principalement à Monsieur **Abdel-Karim AL-SALEM** et Monsieur **Baseem OMRAN**, Professeurs à l'Université d'AL-BAATH pour leurs conseils et leurs idées pendant mes études.

A tous mes professeurs en Syrie et en France.

A l'ensemble des étudiants, anciens et actuels, du LITIS:

Dans le désordre, à Firas, Sourour, Georges, Bassam, Amnir, Yaqian, Waleed, Carlo, Sami, Yadu, Alina, Jimmy, Benjamin, Rémi, Florian, Xilan, Abou, et bien d'autres encore. En souvenir des moments inoubliables partagés ensemble, de leur accueil aimable, de leur confiance, de leur soutien moral, leur amitié et des moments partagés qui ont rendu l'ambiance du travail agréable. Qu'ils trouvent ici mes salutations les meilleures.

Je ne pourrais jamais oublier mes meilleurs amis en Syrie et en France qui ont partagé avec moi des moments difficiles et m'ont aidé à surmonter l'adversité, ils m'ont également permis d'accomplir la mission la plus importante de ma vie avec succès par leurs compétences et leur disponibilité. Je mentionne plus principalement Ali, Saoussen, Majd, Darine et Ramia. Merci de m'avoir toujours écouté à cœur ouvert. Merci pour le soutien l'aide et l'amitié que vous m'avez apportés durant ces années.

Et bien évidemment, je ne voudrais pas terminer sans une pensée toute particulière pour mes parents **Mohammad** et **Afaf** qui ont porté ensemble toute la responsabilité pour assurer notre autonomie dans la vie, tout leur soutien et leur appui inconditionnel. Ma petite sœur **Kinanah** que j'aime beaucoup, mes deux frères **Alaa** et **Allam** qui sont toujours disponibles pour tout soutien. Merci à toute ma famille d'avoir toujours été fière de moi. Enfin Merci à tous ceux qui m'ont apporté un jour, support et soutien et dont j'ai oublié de mentionner dans ces lignes.

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>5</b>
1.1	Introduction générale . . . . .	5
1.2	Contributions . . . . .	6
1.2.1	Importation des positions de véhicules dans le simulateur de réseau sans fil . . . . .	6
1.2.2	Interaction entre le simulateur ns-2 et le logiciel de prototypage avancé en temps réel RTMaps . . . . .	7
1.3	Organisation de la thèse . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Etat de l’art</b>	<b>11</b>
2.1	Introduction . . . . .	11
2.2	Les systèmes avancés d’aide à la conduite . . . . .	12
2.2.1	Les systèmes ADAS autonomes . . . . .	12
2.2.2	Les systèmes ADAS coopératifs . . . . .	22
2.2.3	Le système d’alerte et de prévention du risque . . . . .	24
2.3	Système de communications inter-véhicules . . . . .	25
2.3.1	Introduction . . . . .	25
2.3.2	Le modèle OSI . . . . .	26
2.3.3	Les technologies de communications pour les réseaux véhiculaires existantes	27
2.3.4	Architecture de réseaux VANETs . . . . .	33
2.3.5	Les grands projets sur les véhicules communicants . . . . .	36
2.3.6	Expérimentation de communication entre véhicules . . . . .	39
2.3.7	Les protocoles de routage . . . . .	40

2.3.8	Applications de réseaux VANETs . . . . .	44
2.3.9	Les simulateurs de réseaux Ad-hoc sans fil . . . . .	45
2.4	Conclusion . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Coopération entre deux systèmes logiciels</b>	<b>49</b>
3.1	Introduction . . . . .	49
3.2	Présentation de notre approche coopérative . . . . .	50
3.2.1	Présentation de RTMaps . . . . .	50
3.2.2	Le système de communication . . . . .	51
3.2.3	Présentation de l'outil de simulation ns-2 . . . . .	54
3.2.4	Approche coopérative entre deux systèmes logiciels . . . . .	64
3.3	Le module de communication V2V sous ns-2 . . . . .	66
3.3.1	Les caractérisations des couches sous ns-2 . . . . .	66
3.3.2	Les caractéristiques d'une simulation V2V sous ns-2 . . . . .	68
3.3.3	Simulation des protocoles de routage . . . . .	69
3.3.4	Intégration du modèle de propagation . . . . .	70
3.4	Modèle Benchmark dans les systèmes ADAS . . . . .	71
3.5	Conclusion . . . . .	71
<b>4</b>	<b>Mise en œuvre et résultats</b>	<b>73</b>
4.1	Introduction . . . . .	73
4.1.1	Contexte et objectifs . . . . .	73
4.2	Expérimentations sur la Plate-forme LaRA . . . . .	74
4.2.1	Le prototype LaRA (C3) . . . . .	74
4.2.2	Acquisition des données réelles . . . . .	77
4.2.3	Les contraintes expérimentales . . . . .	78
4.3	Scénarios de communication entre véhicules . . . . .	87
4.4	Analyse des simulations V2V sous ns-2 . . . . .	90
4.4.1	Evaluation des protocoles de routage avec des données réelles . . . . .	91
4.5	Mise en œuvre et évaluation d'un système d'alerte coopératif . . . . .	94
4.5.1	Evaluation du système d'alerte . . . . .	96

---

4.5.2	Le module d'alerte . . . . .	101
4.5.3	Dégradation des scénarios de communication . . . . .	102
4.6	Conclusion . . . . .	105
<b>5</b>	<b>Conclusion et perspectives</b>	<b>107</b>
5.1	Conclusion générale . . . . .	107
5.2	Bilan des travaux réalisés et des résultats obtenus . . . . .	107
5.3	Perspectives . . . . .	109
<b>6</b>	<b>Annexe</b>	<b>111</b>
6.1	Les paramètres de simulation . . . . .	111
6.1.1	Les paramètres statistiques . . . . .	112
6.1.2	La moyenne théorique d'une distribution des erreurs de position horizontale	112
6.1.3	L'écart-type théorique . . . . .	112
	<b>Bibliographie</b>	<b>115</b>



# Table des figures

1.1	Diagramme fonctionnel des systèmes ADAS . . . . .	7
1.2	Organigramme général de la thèse . . . . .	9
2.1	Calcul de position à l'aide de la méthode de trilatération . . . . .	15
2.2	Le système de détection de véhicules . . . . .	19
2.3	Les caractéristiques du système de vision . . . . .	20
2.4	Le modèle sténopé de la caméra . . . . .	20
2.5	<i>Platooning</i> de quatre véhicules . . . . .	24
2.6	La génération d'alerte au véhicule communicant . . . . .	25
2.7	Le modèle de référence ISO . . . . .	26
2.8	Les différents standards des réseaux sans fil . . . . .	27
2.9	Les couches du modèle 802.11 (IEEE) . . . . .	30
2.10	Exemple d'un réseau Ad-Hoc . . . . .	31
2.11	Services dans les réseaux VANETs . . . . .	33
2.12	Scénario de communication entre cinq véhicules . . . . .	34
2.13	Architecture de réseaux VANETs [Guo 2009] . . . . .	35
2.14	Classification des protocoles de routage pour MANETs [Jerbi 2008a] . . . . .	41
2.15	Classification des protocoles de routage pour VANETs [Guo 2009] . . . . .	43
2.16	Risque de collision scénario dans VANET [Huang 2009] . . . . .	45
3.1	La modélisation de notre approche avec trois couches . . . . .	49
3.2	Architecture de communication dans le nouvel ensemble de prototypage . . . . .	51
3.3	Diagramme de RTMaps utilisé dans notre étude . . . . .	52
3.4	Diagramme des processus de simulation sous ns-2 . . . . .	55

3.5	Structure d'un nœud mobile dans ns-2 . . . . .	57
3.6	Modèle de réflexion sur le sol [Jerbi 2008a] . . . . .	59
3.7	Architecture de la coopération entre deux systèmes logiciels (RTMaps-ns-2) . . . . .	65
3.8	Modélisation d'un scénario V2V sous ns-2 . . . . .	66
3.9	Diagramme des étapes d'une simulation sous ns-2 . . . . .	67
3.10	Puissance reçue en fonction de la distance entre les véhicules . . . . .	70
3.11	Modèle benchmark dans les systèmes ADAS avec toutes les étapes qui sont effectuées pour transférer les données entre deux logiciels. . . . .	71
4.1	Le prototype LaRA avec ses différents capteurs embarqués . . . . .	75
4.2	La flotte de véhicules LaRA composée de quatre C3 . . . . .	76
4.3	Le format de trame Communiqué entre les véhicules LaRA . . . . .	77
4.4	Diagramme d'acquisition d'enregistrement de données . . . . .	78
4.5	Courbe de dispersion $dy = f(dx)$ mesurée pour le GPS utilisé . . . . .	80
4.6	Bases de temps de l'enregistrement des données reçues dans les véhicules LaRA . . . . .	82
4.7	Exemple de fichier enregistré sous RTMaps avant-traitement . . . . .	84
4.8	Fichier enregistré avec les données sélectionnées issues de nos expérimentations . . . . .	85
4.9	Exemple de traces de simulation GPSR dans ns-2 . . . . .	87
4.10	Scénarios de communications entre véhicules : (a) <i>Platooning</i> (b) Insertion d'un véhicule (c) Croisement de deux véhicules (d) Dépassement d'un véhicule . . . . .	88
4.11	La trajectoire de véhicules visualisée avec le logiciel Google Earth (campus de Paris- Rocquencourt) . . . . .	89
4.12	La trajectoire de véhicules aller-retour visualisée avec le logiciel Google Earth (campus de Paris-Rocquencourt) . . . . .	90
4.13	Evolution du rapport PDR en fonction du temps . . . . .	92
4.14	Délai de bout en bout en fonction de l'intervall de temps d'envoyer le paquet . . . . .	93
4.15	La fonction du risque [Ammoun 2009] . . . . .	96
4.16	La détection de collision est effectuée par l'analyse des cercles autour de chaque véhicule [Ammoun 2007a] . . . . .	97
4.17	Distance, TTC entre véhicules . . . . .	99
4.18	Signal d'alerte entre véhicules dans le scénario d'Insertion d'un véhicule . . . . .	100

---

4.19	Taux de livraison de paquets en fonction du nombre de véhicules . . . . .	104
4.20	Délai de livraison de bout en bout en fonction du nombre de véhicules . . . . .	105
6.1	Terrain d'expérimentation sur la carte . . . . .	113
6.2	Photographie d'un récepteur BU-353 de GlobalStat . . . . .	113
6.3	Carte WiFi D-Link dans les véhicules LaRA . . . . .	114
6.4	The DGPS Trimble AG 131 . . . . .	114



# Liste des tableaux

2.1	Différents capteurs disponibles dans le véhicule . . . . .	13
2.2	Options disponibles pour la configuration des nœuds . . . . .	42
3.1	Liste des principaux composants disponibles sous ns-2 . . . . .	56
3.2	Quelques valeurs typiques de l'exposant perte de trajet $\beta$ . . . . .	60
3.3	Quelques valeurs typiques de l'écart d'ombrage $\sigma_{dB}(dB)$ . . . . .	60
3.4	Structure d'une ligne du fichier trace . . . . .	67
3.5	Les paramètres du modèle de propagation dans les simulations des VANETs sans fil . . . . .	69
4.1	Paramètres statistiques calculés à partir des mesures réelles (GPS) . . . . .	81
4.2	Exemple de données GPS traitées et validées pour ns-2 . . . . .	86
4.3	Résultats de simulations sous ns-2 . . . . .	94
4.4	Paramètres d'évaluation du système d'alerte prototypé . . . . .	98
4.5	Le pourcentage des pré-collisions en utilisant le protocole de routage dans le scénario d'intersection . . . . .	101
4.6	$E_{Ref}$ dans le scénario d'insertion du véhicule . . . . .	101
4.7	Résultats de simulations en changeant le nombre de véhicules communicants . .	103
4.8	$E_{Ref}$ en changeant le nombre de véhicules communicants . . . . .	104
6.1	Avantages et inconvénients des protocoles de routage . . . . .	111
6.2	Caractéristiques du récepteur BU-353 de GlobalSat . . . . .	113



## Résumé

Récemment, dans la recherche automobile et dans le domaine des transports intelligents, plusieurs projets intéressants ont été menés afin de diminuer le nombre d'accidents. Lors du développement de ces projets, de nouveaux systèmes d'aide à la conduite ont été proposés, comme les systèmes de prévention de collision, d'aide à la vision de nuit et à la navigation. Ces études ont permis de proposer de nouvelles perspectives telles que les systèmes d'aide à la conduite coopératifs, en utilisant la communication entre les véhicules ou entre les véhicules et l'infrastructure basée sur les réseaux VANETs. Pour évaluer l'impact de systèmes ADAS sur l'amélioration de la sécurité routière et la réaction du conducteur, il est indispensable d'utiliser des outils flexibles et efficaces. Des métriques intéressantes sont ainsi proposées dans le but de tester la performance de ces systèmes. La plateforme LaRA qui est équipée de plusieurs capteurs et d'un système d'acquisition en temps réel nous a fourni une base de données réelles de position et de vitesse. Ces données sont traitées et analysées afin de calculer les métriques de performances tels que : la distance entre véhicules et le temps à collision. Nous avons proposé dans cette thèse une nouvelle méthodologie de développement pour le prototypage de systèmes ADAS. Cette méthodologie dédiée aux systèmes ADAS coopératifs, combine les données de plusieurs modules tels que : le module de vision, le module de communication V2V et le module de géo-localisation GPS. Un des problèmes majeurs des systèmes ADAS communicants concerne la qualité et la robustesse de la communication. Elle est fonction d'un grand nombre de paramètres qu'il faut modéliser pour pouvoir évaluer la fiabilité du système d'aide à la conduite. Nous proposons ainsi, un système de prototypage basé sur le principe de la réalité augmentée, dans lequel nous pouvons rejouer des données réelles et modifier des paramètres de l'environnement de communication. Nous avons mis en œuvre notre méthodologie avec la réalisation d'un système d'alerte coopératif entre les véhicules. Les données du système de géolocalisation GPS et les protocoles de routage ont été des éléments primordiaux pour la simulation du modèle V2V sous le simulateur ns-2. L'étape de la simulation du protocole avec les données réelles a été suivie par l'intégration des résultats de simulations dans le nouveau prototype développé sous RTMaps. La mise en œuvre du système d'alerte a permis d'estimer le nombre de pré-collisions détectées dans les deux situations réelle et simulée. L'écart entre ces deux dernières a été étudié et analysé pour plusieurs scénarios qui correspondent aux différentes situations routières.

**Mots clés :** Systèmes avancés d'aide à la conduite, Communications entre véhicules, Simulations Ns-2, Prévention des collisions, Système d'alerte, Protocoles de routage.

## Abstract

During the last recent years, ADAS systems such as collision warning, tracking, night vision and navigation systems have been developed. The development of these systems has witnessed a growing importance, as they are expected to help improving both road safety and traffic efficiency. Moreover, they have an ability to enhance the communication between the road infrastructure and the vehicle or between vehicles for safer and efficient transportation services such as : embedded advance collision, collision avoidance and automatic control. In addition, given the rapidly increasing interest in wireless communications, cooperative ADAS define a new framework of autonomous inter vehicular communication which operates on the assumption that such vehicles consist of a multitude of coordinated advanced sensory technologies. Sensors acquire real-time data about road conditions to help the driver respond effectively by sending appropriate messages between vehicles. In addition, these data help to assess the performance of ADAS in the context of improving driver behavior. It is necessary to set some main metrics such as inter-vehicle distance, driver reaction time and time to collision. The messages are transmitted to drivers using vehicular Ad-hoc networks (VANETs) which are a specific type of Mobile Ad-hoc Networks hold the promise to contribute to safe and more efficient roadways. In this thesis we proposed a new methodology of development to prototype ADAS. This methodology dedicated to cooperative ADAS drove us to implement a new simulated framework of prototyping system. This framework combines the data from three models : Geo-localization GPS, vision and V2V communication towards an application of anti-collision warning system. A major problem in communicating ADAS systems is the quality and robustness of the communication. It depends on a large number of parameters that must be modeled to assess the reliability of these systems. We developed a new prototyping system based on the principle of augmenting the reality in which we can replay actual data and change settings of communication environment. The GPS data and routing protocols were crucial elements for V2V model simulation into ns-2 simulator. We have performed real tests on the experimental prototyping platform LaRA. Multiple results are presented to show up the constancy of the method and the performance efficiency of real-time multi sensors in an integrated framework for collision avoidance applications. Results of this research have shown that IVCs simulations system provides enhanced data for the verification of features of new ADAS. The results of routing protocols simulation with real-time location data are integrated in the new developed prototype. The im-

plementation of the system warning was used to estimate the number of pre-collisions detected in both real and simulated situations. The difference between these two situations was studied and analyzed for several scenarios corresponding to different road situations.

**Keywords :**

Advanced Driver Assistance Systems, Communications between vehicles, ns-2 simulations, Collision avoidance, Collision warning, Routing protocols.

# Chapitre 1



# Chapitre 1

## Introduction

### 1.1 Introduction générale

Depuis une dizaine d'année, l'industrie automobile est en pleine transformation et les véhicules ne sont plus considérés comme des systèmes thermomécaniques contrôlés avec quelques composants électroniques. Les véhicules d'aujourd'hui sont des systèmes complexes dont les fonctions les plus importantes sont contrôlées par des réseaux d'ordinateurs. Plusieurs facteurs ont contribué à ce virage de l'industrie automobile tels que : l'augmentation des coûts d'essence et de la pollution des véhicules, les menaces de sécurité potentielles, la haute densité d'automobiles.

Pour ces raisons, les Systèmes de Transport Intelligents (STI) ont constitué un domaine des nouvelles technologies de l'information et de la communication appliquées aux transports telles que : la communication sans fil, la localisation GPS, la détection d'obstacles et de piétons. Ils visent à améliorer la sécurité routière et l'efficacité du trafic en réduisant le nombre d'accidents sur les routes. Depuis quelques années, les systèmes avancés autonomes d'aide à la conduite ADAS (*Advanced Driver Assistance Systems*) sont apparus sur les véhicules comme les systèmes ABS (*Automatic Breaking System*) et ESP (*Electronic Stability Program*) pour l'aide au freinage. Ces systèmes ADAS autonomes peuvent être considérés comme des dispositifs de sécurité actifs intégrant quatre fonctions primordiales qui précèdent l'accident : la perception, l'analyse d'environnement proche et lointain, la décision et l'action. Ils interagissent non seulement avec l'environnement et le véhicule mais aussi avec le conducteur à travers des interfaces

passives et actives. Pour améliorer le fonctionnement et la robustesse de ces systèmes ADAS autonomes, des systèmes coopératifs ont été élaborés à travers des réseaux VANETs (Vehicular Ad-hoc NETWORKS). Ces deux systèmes autonomes et coopératifs sont représentés par la figure 1.1. Afin d'exécuter les fonctionnalités des ADAS, les véhicules doivent être équipés d'un ensemble de capteurs synchronisés et connectés via les réseaux VANETs. La mise en œuvre de ces systèmes est délicate du fait qu'ils nécessitent une compatibilité, une synchronisation et une calibration des capteurs, ainsi que l'utilisation de systèmes temps réel et de simulateurs de réseaux ad-hoc très proches de la réalité.

## 1.2 Contributions

L'objectif principal de notre recherche est de concevoir un système d'alerte embarqué basé sur les communications entre véhicules. Plus particulièrement, cette étude traite une classe différente d'application de communications à courte portée qui est largement utilisée dans les communications de type V2V. Pour réaliser ceci, nous étudions d'abord les systèmes d'aide à la conduite ADAS et nous mettons en œuvre par la suite le prototypage de ces systèmes à l'aide des simulations sous ns-2. Notre stratégie consiste à étudier le couplage en temps différés entre le système de communication entre véhicules sous "ns-2" et le système de prototypage avancé ADAS en temps réel sous RTMaps. L'intégration des données réelles et simulées dans les deux systèmes sera détaillée en mettant l'accent sur différents aspects de l'environnement de communication entre véhicules. La méthode d'intégration appliquée permettant de réaliser une coopération entre deux logiciels est composée de deux parties :

### 1.2.1 Importation des positions de véhicules dans le simulateur de réseau sans fil

Vu que le simulateur de réseaux sans fil n'est pas capable de représenter un trafic réel de réseaux de véhicules, il est nécessaire d'avoir un modèle de mobilité précis qui représente le mouvement de ces véhicules. Ce modèle de mobilité est obtenu à travers des fichiers de traces GPS enregistrés sous RTMaps. Nous proposons d'utiliser les positions réelles des véhicules, appelées traces, extraites d'un véritable scénario. Les fichiers de positions GPS nécessitent une

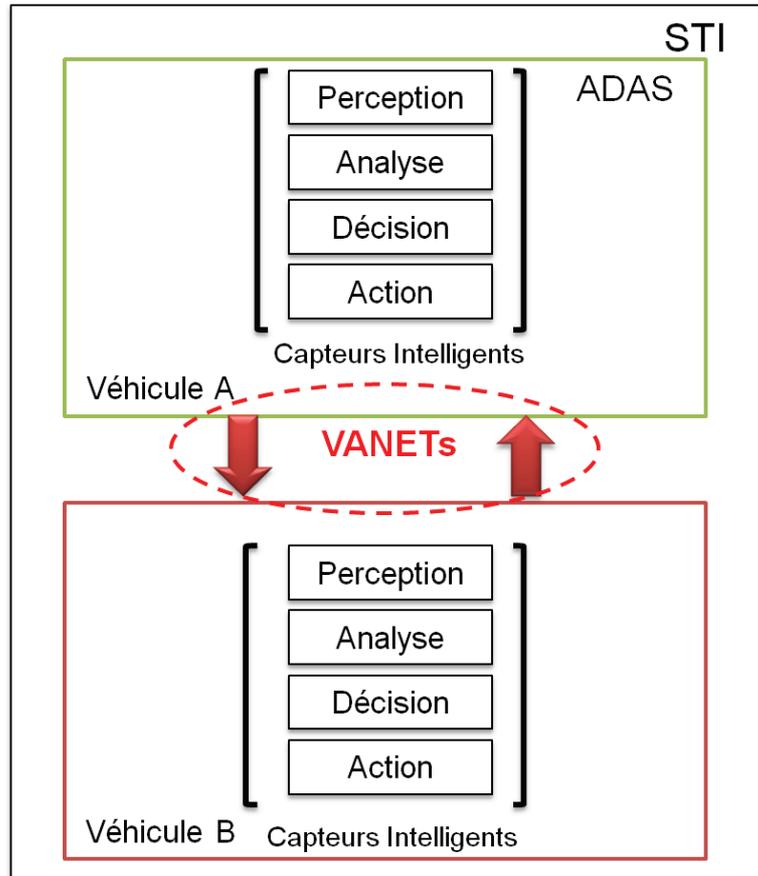


FIGURE 1.1 – Diagramme fonctionnel des systèmes ADAS

phase de traitement pour sortir des traces compatibles et utilisables par le simulateur ns-2. Les simulations rejouent alors le mouvement exact des véhicules. Le résultat sous ns-2 indique que les véhicules simulés suivent le même chemin observé en réalité.

### 1.2.2 Interaction entre le simulateur ns-2 et le logiciel de prototypage avancé en temps réel RTMaps

Après l'importation des positions de véhicules dans ns-2, il est important d'évoquer l'application d'alerte pour l'aide à la conduite, en utilisant les communications sans fil. L'objectif de cette étude consiste à proposer une méthode coopérative pour alerter le conducteur et éviter la collision. Cette méthode permet aux deux logiciels ns-2 et RTMaps d'échanger entre eux leurs différentes données. Les résultats de simulations sous ns-2 sont définis par des fichiers de traces de communications et les temps de transfert associés à chaque paquet. Ces fichiers seront aussi

traités afin d’extraire des informations nécessaires pour le rejeu des données avec RTMaps. Nous avons d’une part implementé un composant qui permet l’échange d’informations entre les simulations ns-2 et RTMaps de telle manière que le simulateur fournisse des traces de communications avec les temps, les positions, les vitesses des véhicules et les transferts associés. D’autre part, nous avons développé un système d’alerte sous RTMaps utilisant les communications V2V simulées afin de calculer à quel moment nous devons alerter les conducteurs. Nous avons évalué les paramètres de distance et le temps à collision dans ce système d’alerte coopératif. L’idée est d’envoyer le signal d’alerte lorsque les véhicules sont trop proches (i.e. la distance entre les deux véhicules est inférieur au seuil déterminé). Nous avons comparé les résultats obtenus avec la situation réelle enregistrée lors des essais qui nous servent de référence. Nous avons testé ce système sous plusieurs scénarios correspondent aux différentes situations routières.

### 1.3 Organisation de la thèse

Cette thèse présente d’une part la communication entre véhicules incorporée dans les systèmes avancés d’aide à la conduite. D’autre part, elle s’intéresse à la conception d’une Plate-forme coopérative entre deux systèmes logiciels. Cette Plate-forme fournit des informations intéressantes pour une application d’alerte embarquée.

Après avoir introduit le contexte et les contributions de notre travail, nous présentons dans un organigramme illustré ci-dessous les différentes étapes suivies lors de cette étude. Le manuscrit de cette thèse est structuré principalement en quatre chapitres. La suite de ce manuscrit s’organise de la façon suivante :

Le second chapitre est consacré à dresser un panorama de l’état de l’art sur les systèmes de transport intelligents en s’articulant alors autour des deux principaux acteurs : les systèmes avancés d’aide à la conduite et les systèmes de communication entre véhicules. Les systèmes ADAS sont constitués de deux catégories : les ADAS autonomes et les ADAS coopératifs qui seront ensuite présentés. Nous détaillons chaque partie de ces systèmes (GPS, le système de vision et le système d’alerte). Puis nous introduisons les différents systèmes communicants surtout les systèmes de communication V2V et leurs applications. La norme WiFi utilisée dans le système de communication sera présentée en expliquant ses caractéristiques essentielles. Nous citons en plus un panorama de projets et de travaux de standardisation développés en Europe,

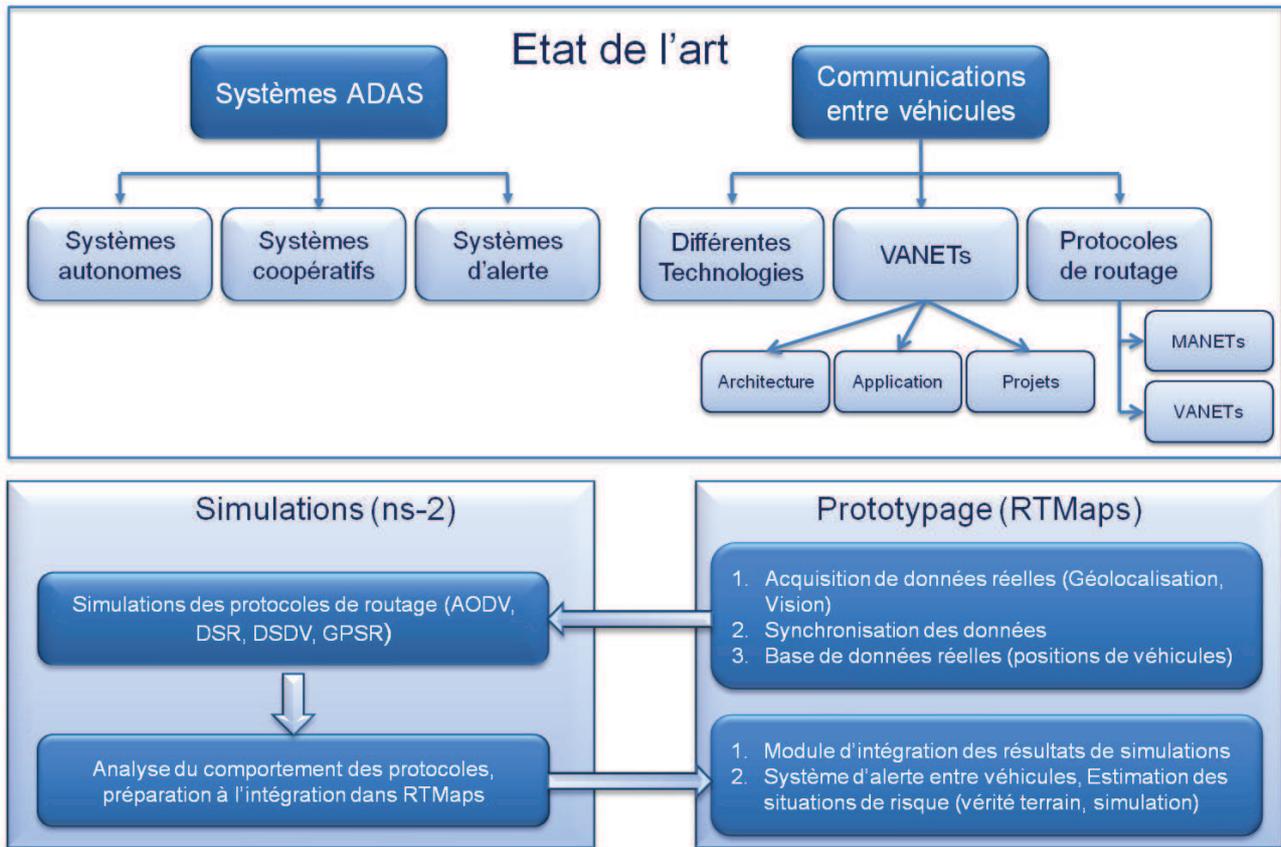


FIGURE 1.2 – Organigramme général de la thèse

dans le domaine des communications entre véhicules. Une partie des protocoles de routage nécessaires pour les simulations seront abordés. Cet état de l'art nous permettra d'étudier les caractéristiques importantes de réseaux véhiculaires et de comprendre les contraintes à prendre en compte dans les simulations.

Nous présentons dans le troisième chapitre, une nouvelle approche coopérative pour les systèmes ADAS, dans laquelle nous intégrons les communications entre véhicules. Nous décrivons les outils utilisés pour réaliser notre objectif. Nous présentons ensuite les modèles d'acquisition de données sous RTMaps et les modèles de simulations utilisés sous ns-2. Nous analysons l'environnement de simulation conçu sous le simulateur de réseaux (ns-2). L'approche coopérative, constituée d'un couplage entre deux systèmes logiciels, sera présentée ; de même, l'architecture de coopération sera décrite.

Le quatrième chapitre sera consacré à décrire la plate-forme d'expérimentation LaRA avec ses capteurs intelligents. Les résultats des expérimentations menées avec l'équipe IMARA de

l'INRIA Rocquencourt seront présentés puis analysés, synchronisés, traités et intégrés d'une façon correcte dans le logiciel de réseau ns-2. Ensuite, plusieurs simulations de réseaux VANETs sous ns-2 seront effectuées. Nous analyserons par simulation, d'une part l'effet des protocoles de routage AODV, DSR, DSDV et GPSR sur notre réseau et sur notre système d'alerte. D'autre part, l'effet du modèle de propagation du signal entre les véhicules sera également analysé. Enfin, nous terminons ce manuscrit de thèse par une synthèse générale qui reprend l'ensemble des contributions importantes de ce travail de recherche. De plus, un ensemble de perspectives seront aussi identifiées et discutées.

# Chapitre 2



# Chapitre 2

## Etat de l'art

### 2.1 Introduction

Les systèmes de transport intelligents (appelés STI, ou "*Intelligent Transport Systems*", ITS) désignent des nouvelles technologies appliquées aux réseaux de transport pour améliorer la conduite, la gestion et l'exploitation ainsi que pour apporter de nouveaux services aux utilisateurs. Ils répondent aux problématiques de sécurité routière et de congestion du trafic. Ils fournissent aussi une assistance évoluée prenant en compte l'environnement et les risques sur les routes [Grégoire-Girard 2008]. Les systèmes de transport intelligents proposent des solutions intéressantes pour :

- Réaliser une gestion du trafic à partir de données dynamiques pour diminuer les congestions.
- Etablir un système de gestion de la circulation qui permet l'intervention rapide en cas d'incidents.
- Réduire le temps de déplacement (*Travel Time*) sans modifier ni le chemin ni les moyens utilisés.

A partir de ces solutions intéressantes décrites ci-dessus nous pouvons déduire les principaux objectifs des systèmes de transport intelligents :

- L'amélioration de la sécurité routière.
- L'amélioration de l'efficacité énergétique des transports.
- Le développement durable ou la diminution de la pollution et la maîtrise de la mobilité.

- Le développement des services et des enjeux industriels et commerciaux.

Dans ce chapitre, nous allons mettre l'accent sur les systèmes avancés d'aide à la conduite (*ADAS*). Nous allons aborder les systèmes de localisation tels que le GPS et les systèmes de vision. Ensuite, nous allons présenter des *ADAS* coopératifs y compris un système d'alerte et d'analyse du risque d'accident. La troisième partie sera consacrée à décrire le système de communication entre véhicules. Nous exposons quelques technologies de communications sans fil et nous présenterons quelques projets et travaux de standardisation récents associés à ce type de communication. Par la suite, nous aborderons les différents types de routage utilisés dans ces systèmes ainsi que les applications de réseaux *VANETs*. Dans la quatrième partie, nous présentons quelques simulateurs pertinents de réseaux Ad-hoc sans fil.

## 2.2 Les systèmes avancés d'aide à la conduite

### 2.2.1 Les systèmes *ADAS* autonomes

Parmi les systèmes les plus élaborés, nous trouvons les systèmes *ADAS*. Ces systèmes sont conçus pour être intégrés dans les véhicules afin de renforcer la quantité et la qualité des informations transmises au conducteur [Guo 2009]. Les systèmes de transport intelligents perçoivent l'environnement grâce à des capteurs extéroceptifs et proprioceptifs installés dans le véhicule ou dans l'environnement. Ces capteurs fournissent de l'information ou agissent sur le contrôle de véhicule pour aider le conducteur dans la tâche de conduite [Bishop 2005]. Le tableau 2.1 présente différents capteurs qui sont actuellement disponibles et nombreux dans les véhicules.

Bishop a défini les véhicules intelligents comme des systèmes capables de percevoir l'environnement routier et de fournir des informations afin de contrôler le véhicule et aider le conducteur. Ils interviennent dans la conduite au niveau tactique comme par exemple sur l'accélérateur, les freins ou sur la direction. Parmi les systèmes embarqués pour l'aide à la navigation d'un véhicule dans des environnements urbains et périurbains, deux fonctions sont envisagées : la première porte sur l'exploitation des informations fournies par des capteurs installés sur le véhicule afin de percevoir l'environnement autour du véhicule (avant et arrière). La deuxième a pour objectif de proposer un ensemble de services embarqués ou distants. Grâce à cette dernière fonction, le système d'aide à la navigation sera capable de four-

nir des informations sur les itinéraires ainsi que des informations touristiques. Les systèmes d'aide à la conduite fournissent aussi de nouvelles fonctionnalités intéressantes pour le transport routier comme par exemple : le *platooning*, la détection d'obstacles, la gestion des distances, la planification des trajectoires et des trajets, la détection de la pluie pour l'activation automatique des essuie-glaces [Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé. J 2007] [Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé, J 2006] et l'Alerte de Franchissement Involontaire de Ligne (AFIL). Dans ce contexte, la connaissance de la localisation et la vitesse des objets mobiles représentent une information clé. Le système de positionnement GPS est un système abordable, qui fournit le positionnement des véhicules en 3D [Lefée 2004]. En effet, les environnements urbains sont caractérisés par des conditions complexes : des objets statiques ou en déplacement, une perception mobile et des infrastructures variées.

TABLE 2.1 – Différents capteurs disponibles dans le véhicule

Types de capteurs	Capteurs
Capteurs d'imagerie	Modules de caméras, les caméras gamme 3D, le visage du pilote et les trackers regard, capteur de la route d'état de surface, Détecteurs lasers, Détecteurs infrarouges (Caméra infrarouge)
Capteurs de distance	Capteurs infrarouges, radar, capteur de collision par l'avant, capteur de collision par l'arrière, capteur de collision latérale et capteurs anticollision.
Les cartes numériques	Système de Positionnement Global (Cartes GPS), Système d'Information Géographique (SIG).
Les dispositifs de communication	Communication sans fil et diffusion météorologique locale.
Tachymètres	Indicateur de vitesse, thermomètres, horloges, la vitesse de la roue.
Capteurs mécaniques	Capteurs mécaniques de l'état du moteur, capteurs de pression des pneus, capteurs de l'état des pneumatiques.
Autres capteurs	Pollution, détection de la pluie, etc.

### 2.2.1.1 Le système de positionnement GPS

**Définition et principe de fonctionnement du GPS** Le système de localisation GPS ainsi que le système GALILEO sont des systèmes de positionnement global qui fonctionnent sur le même principe. Ils sont conçus pour fonctionner dans toutes les conditions météorologiques. Ils permettent d'obtenir précisément la vitesse et la position tridimensionnelle d'un récepteur [Hofmann-Wellenhof 1994] quelque soit sa localisation, de façon continue et instantanée. Le système de localisation GPS est constitué de trois segments : le segment spatial, le segment de contrôle et le segment utilisateur.

Le segment spatial du système de navigation GPS est constitué par la constellation des satellites NAVSTAR. Cette constellation contient 24 satellites opérationnels qui gravitent autour de la terre avec une période orbitale de 12 heures. Les 24 satellites sont repartis sur 6 plans orbitaux avec une inclinaison multiple de  $55^\circ$  par rapport à l'équateur terrestre [Kaplan 2006]. Chaque orbite abrite 4 satellites espacées de  $60^\circ$  et sont à une altitude de 20180 (Km) sur laquelle chaque satellite effectue, approximativement, 2 rotations en 24 heures. La disposition spatiale des satellites est conçue de telle sorte qu'en chaque point de la terre, plus de 4 satellites sont en vue. Au minimum quatre satellites sont nécessaires pour avoir un positionnement en trois dimensions (en général longitude, latitude et altitude) et la vitesse d'un récepteur.

En ce qui concerne le segment de contrôle, il s'agit d'un réseau de 5 différentes stations de poursuite de la composante de contrôle au sol qui ont pour principale fonction de suivre toutes les secondes la trajectoire des satellites GPS. La station principale gère toutes les transmissions ainsi que le calcul des éphémérides et les corrections des horloges satellite qui sont régulièrement communiquées aux satellites, à leur tour, les transmettent aux utilisateurs. Le récepteur GPS utilise l'ensemble de ces informations pour calculer et corriger sa position.

Le segment utilisateur est constitué de l'ensemble des récepteurs passifs civils et militaires. En utilisant des informations transmises par les satellites en vue pour se positionner, le récepteur est capable de calculer sa position, sa vitesse et le temps universel. Il faut, au minimum, 4 satellites en vue pour qu'un récepteur puisse recevoir quatre signaux nécessaires pour calculer la position en 3D et le temps. Il faut noter que l'utilisation des signaux GPS est gratuite et nous ne payons que les récepteurs qui sont de plus en plus petits et bon marché [Langley 2000].

**Le calcul de la position, vitesse et temps du récepteur** Le positionnement GPS est basé sur le principe de la triangulation (voir figure 2.1) : un lieu géométrique est déterminé par l'intersection de trois sphères dans l'espace. Dans le cas des systèmes GPS, chaque sphère est déterminée par son centre qui a la position d'un satellite dans l'espace et son rayon donné par la distance entre le récepteur et le satellite.

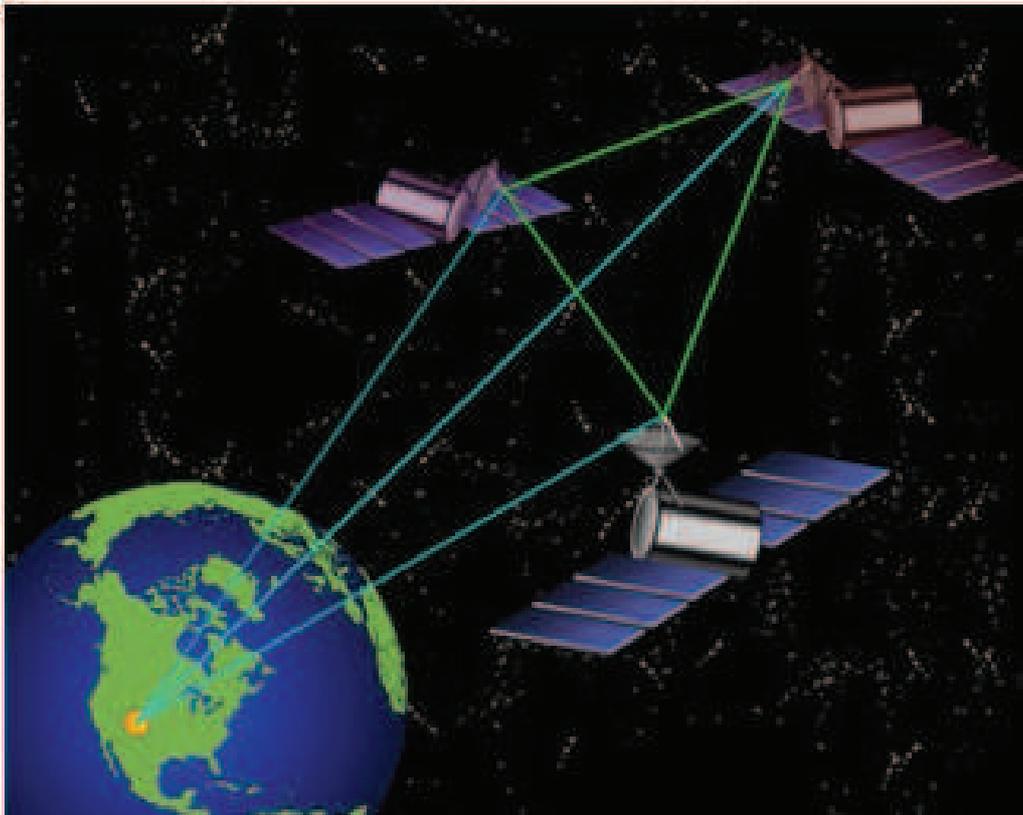


FIGURE 2.1 – Calcul de position à l'aide de la méthode de trilatération

La position de chaque satellite étant véhiculée par les messages de navigation et peut être décodée par le récepteur GPS. La distance entre l'antenne du récepteur et le satellite est calculée à partir du temps de vol du signal GPS. De cette manière et avec l'utilisation de trois satellites, le récepteur GPS peut déterminer sa position horizontale. Cette méthode de calcul est basée sur la résolution d'un système de trois équations à trois inconnues par rapport à trois satellites de positions connues (i.e. l'équation 2.1). Par exemple, si on considère que la position inconnue d'un récepteur est  $(x, y, z)$  et que les coordonnées des trois satellites sont  $(x_i, y_i, z_i, i = 1, 2, 3)$ , nous obtenons le système de trois équations à résoudre ci-dessous :

$$R_1 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \quad (2.1)$$

$$R_2 = (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 + (z - z_2)^2 \quad (2.2)$$

$$R_3 = (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 + (z - z_3)^2 \quad (2.3)$$

Dans ce système, les distances  $R_i$  sont calculées par le temps de vol ( $T_i$ ) [ $R_i = c.T_i$ ] que met le signal GPS pour faire le trajet entre le récepteur et les satellites. Si le temps  $T_i$  est mesuré avec précision, la résolution de ce système suffit pour déterminer la position du récepteur. Cependant, en réalité, le temps de vol est entaché d'erreur de synchronisation entre l'horloge du récepteur et celle du satellite. Cette incertitude sur le temps est considérée comme une quatrième inconnue, d'où la nécessité d'une quatrième équation (donc d'un quatrième satellite) pour qu'un récepteur puisse déterminer sa position. C'est pour cette raison que le nombre minimal de 4 satellites, est fixé pour le positionnement 2D. Si plus de quatre satellites sont observés, la précision et la fiabilité du positionnement seront plus élevées. La position fait référence à un système de coordonnées géocentriques. Les coordonnées tridimensionnelles obtenues sont exprimées dans le système de coordonnées utilisé pour le calcul des positions des satellites. Ce système de coordonnées est le WGS-84 [Malys 1994]. Il est à noter que les difficultés de localisation proviennent de la perturbation ou de l'interruption causées par les obstacles (bâtiments, rochers, tunnels, interférences électroniques, forêts, conditions météorologiques, ...).

**Localisation dans les réseaux VANETs** Les systèmes de positionnement (i.e. récepteur GPS) constituent la principale solution pour localiser les nœuds (véhicules) dans les réseaux VANETs. Il s'agit d'une solution raisonnable car les récepteurs GPS peuvent être facilement installés dans les véhicules. Les récepteurs GPS ont une erreur de localisation de  $\pm 10$  à  $30$ [m] [Hofmann-Wellenhof 1993], [Kaplan 1996].

Bien que cela soit un niveau raisonnable de précision pour la plupart des applications, il reste insuffisant pour les applications critiques VANET. De plus, le fonctionnement du GPS n'est pas toujours robuste [Kaplan 2006]. Il est fonction de l'environnement et de la visibilité des satellites entraînant des problèmes dans le fonctionnement des réseaux VANETS. Plusieurs travaux sur le positionnement ont été proposés pour améliorer l'estimation de la position en

utilisant des techniques de filtrage, comme par exemple le filtre de Kalman [Ammoun 2007b], ou pour améliorer la disponibilité de l'estimation de la position en utilisant le filtre particulier [Challita 2009b]. En outre, les véhicules peuvent être équipés d'une cartographie qui améliore la connaissance de l'environnement. Cette cartographie donne des informations détaillées sur la topologie, la cartographie de la route comme, par exemple, le nom des routes ou la vitesse limite. Pour compenser le problème de l'indisponibilité du service GPS, il est possible de combiner ses informations avec les informations géographiques. Sur ce principe, Abuhadrous a développé un filtre non linéaire de Kalman basé sur la fusion de données permettant d'obtenir la localisation précise d'un véhicule en mouvement [Abuhadrous 2005].

### 2.2.1.2 Le système de vision

Dans le contexte des systèmes d'aide à la conduite, la détection d'obstacle est considérée comme une tâche essentielle à réaliser. Les systèmes de vision permettent de réaliser cette tâche. Cette activité de recherche mobilise un grand nombre de chercheurs. Pour implémenter un algorithme de détection, il est nécessaire de collecter des données de perception de l'environnement et évaluer les zones de risques. L'algorithme de détection varie selon le type d'obstacle existant. Dans cette section, nous présentons un état de l'art des recherches effectuées dans le domaine de détection d'obstacle. Ensuite nous allons présenter les systèmes de vision, monovision et stéréovision, développés par notre équipe et utilisés pour la détection des véhicules.

Broggi et al. [Broggi 2008] ont présenté un système de vision qui permet de fusionner les informations de trafic sur les intersections et de prévoir une distance de détection entre les véhicules allant jusqu'à 100 m. Ce système est composé de deux caméras monoculaires haute résolution avec objectif grand angle (70 degrés). Il fournit un système de suivi de véhicules et d'estimation de leurs vitesses, tout en respectant la direction du mouvement. Lorsque le véhicule s'arrête à une intersection le système fonctionne à l'aide d'un mode de gestion spécial. Il est à noter que ce système a été développé et testé sur le véhicule de l'équipe Oshkosh, TerraMax™, qui est considéré comme l'un des (11) robots admis à l'événement final de l'urbain DARPA challenge 2007. L'algorithme a montré un bon taux de détection pendant les sessions de test, plus particulièrement avec les véhicules lointains. Certains points (faux positifs/faux négatifs) sont présents, même avec l'introduction du système de suivi qui a considérablement réduit leur

nombre. En ce qui concerne le temps de calcul, l'ensemble du système prend moins de 100 (ms) sur un PC type Intel Core Duo 2.0 GHZ (T2500) pour traiter à la fois les images droite et gauche en mode multi-résolution. La principale difficulté de cette tâche a été la détection pour les longues distances du fait de la taille apparente d'un véhicule éloigné et des vibrations élevées affectant les caméras. Le système latéral a montré un grand potentiel lors du développement et des essais TerraMaxTM : il était capable de détecter précisément des objets en mouvement qui étaient à plus de 100 m.

Toutefois, certaines améliorations peuvent être appliquées au système de vision afin de surmonter deux problèmes : la grande sensibilité des paramètres de calibration de la caméra lors du calcul des positions et le fait qu'à l'heure actuelle le système ne pouvait pas distinguer entre les véhicules et les piétons. Le premier problème peut être atténué en exploitant les informations fournies par le système INS et en appliquant une correction en ligne sur les paramètres de calibration afin de reconnaître les objets qui doivent être considérés et ceux qui doivent être rejetés.

Pour détecter des obstacles et des véhicules dans un environnement routier, notre équipe a choisi de segmenter des cartes éparses de profondeur par sélection de segments 3D. Les cartes éparses de profondeur représentent les scènes routières réelles 3D et sont obtenues par mise en correspondance de points de contour en utilisant une méthode de programmation dynamique. Les points de contour sont extraits de façon auto-adaptative en utilisant un opérateur développé au laboratoire appelé déclivité. Cet opérateur a été conçu par M. Miché, M. Debrie et M. Bensrhair au sein de notre équipe en 1996 [Miché 1995]. La déclivité a montré sa fiabilité et sa robustesse en situation de visibilité réduite. Cette approche a été réutilisée par I. Cabani pour l'application de la détection d'obstacles en stéréovision couleur [Cabani 2006] et par Y. Li pour l'application de détection de véhicules [Li 2008].

Dans [El Ansari 2008], Ansari a présenté une méthode rapide de mise en correspondance stéréoscopique en temps réel pour la détection d'obstacles routiers dans des conditions de brouillard. Le processus de mise en correspondance est réalisé en programmation dynamique, ce qui revient à trouver un chemin optimal sur un plan des coordonnées 2D. Afin d'obtenir ce chemin, une nouvelle fonction a été proposée. Cette fonction est obtenue à partir des valeurs de la variance des intensités sur le côté droit des deux déclivités qui sont mise en correspondance. Le processus de mise en correspondance est exécuté indépendamment sur chaque ligne d'image.

Certaines contraintes sont utilisées afin de réduire le nombre de faux appariements lors de la mise en correspondance et d'accélérer ce processus. Il a exploité la relation entre les images stéréo successives. Par conséquent, la carte de disparité calculée pour une paire stéréo sera utilisée afin de trouver la gamme de disparité pour la paire stéréo suivante. Cette gamme de disparité est déduite pour chaque ligne à partir de la carte de disparité et de la V-disparité de la trame précédente. L'approche proposée dans cet article a été testé sur des images de synthèse et des images réelles. Les résultats montrent l'efficacité de cette méthode proposée, en particulier sous des conditions de brouillard. Ces dernières années, dans le cadre de plusieurs collaborations avec d'autres laboratoires, l'équipe STI a utilisé différents systèmes de vision pour la détection des obstacles :

**Détection par monovision** Le système de monovision, embarqué dans les véhicules, est utilisé principalement dans les travaux de G. Challita [Challita 2009a]. Dans le cadre de notre thèse ce système a permis aussi de calculer la distance entre deux véhicules. L'objectif était de localiser un véhicule en 3D dans le repère absolu comme illustré dans la figure 2.2.



FIGURE 2.2 – Le système de détection de véhicules

Le système de vision utilisé est basé sur une caméra monovision qui permet de détecter le véhicule sur la route ainsi que la pluie [Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé. J 2007]. Ce système est formé d'un capteur de vision placé derrière le pare-brise centré à l'emplacement habituel du rétroviseur intérieur et dirigé vers l'avant du véhicule. Il s'agit d'une caméra CCD couleur de type Sony *EVI – 401DR* (PAL) 1/3 ayant une focale de 5.6 [mm]. Elle fournit des images de taille 768x576 pixels. Cela donne une taille du pixel égale à  $8.81\mu m$ . Des images fournies seront interprétées avec une connaissance a priori des caractéristiques de l'obstacle permettant d'extraire des primitives caractérisant le véhicule dans une scène telles que la symétrie,

la texture, les ombres portées, le flot optique, la couleur, etc. Ainsi, en prenant en considération l'hypothèse "route plane" et en ayant localisé le véhicule dans l'image, nous pouvons calculer la distance inter-véhicules [Challita 2009a]. Selon le modèle sténopé, la distance entre deux véhicules est donnée par l'équation 2.4 ci-dessous. Cette distance est aussi exprimée par l'équation 2.6 en fonction du vecteur d'état par :  $(x_1, y_1)$  : Coordonnées de véhicule 1,  $(x_2, y_2)$  : Coordonnées de véhicule 2. La figure 2.3 représente les caractéristiques du système de vision et la figure 2.4 montre le modèle sténopé de la caméra utilisée.

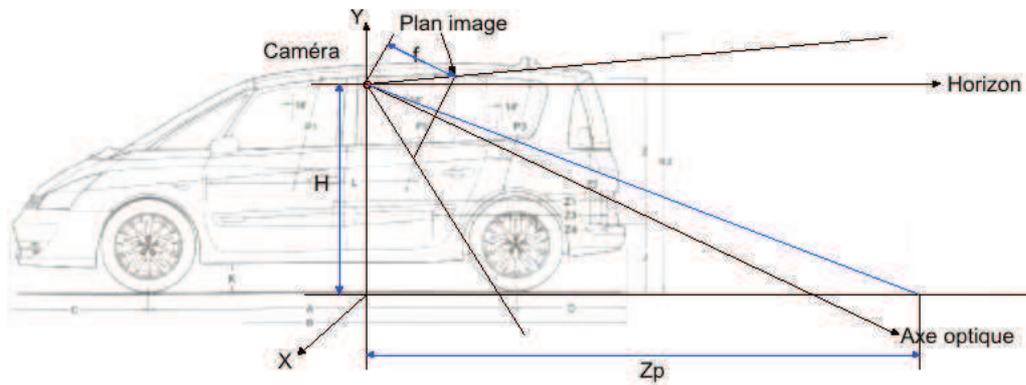


FIGURE 2.3 – Les caractéristiques du système de vision

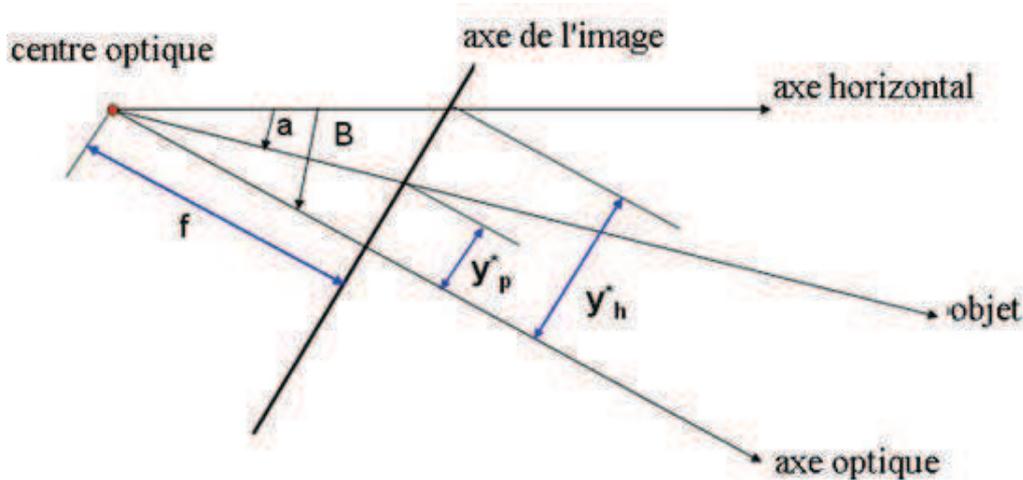


FIGURE 2.4 – Le modèle sténopé de la caméra

$$Z_p = \frac{H \cdot (f^2 + p^2 \left(\frac{N_H}{2} - y_h\right) \left(\frac{N_H}{2} - y_p\right))}{f \cdot p \cdot (y_p - y_h)} \quad (2.4)$$

$$Y_p = \frac{H.(f^2 + p^2 \cdot \frac{N_H}{2} \cdot (\frac{N_H}{2} - y_h)) + f \cdot p \cdot y_h \cdot Z_p}{H^2(\frac{N_H}{2} - y_h) + f \cdot p \cdot Z_p} \quad (2.5)$$

Et aussi  $Z_p$  :

$$Z_p = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.6)$$

Où :

- $Z_p$  : La distance entre deux véhicules.
- $H$  : L'hauteur de la caméra
- $p$  : Pitch du capteur (taille de pixel)  $p = 8,8\mu m$
- $N_H$  : Nombre de lignes dans l'image
- $y_h$  : Ligne de l'horizon
- $y_p$  : Ligne correspondant à l'obstacle
- $f$  : La focale de la caméra en (mm)

**Détection par stéréovision** Dans le cadre des systèmes d'aide à la conduite automobile, Toulminet [Toulminet 2006] a présenté deux méthodes de détection d'obstacle et de détection de véhicule en temps réel en calculant la distance au véhicule précédent à partir d'un système de stéréovision embarqué. Afin de détecter les obstacles en temps réel dans un environnement routier, elle a choisi de segmenter les cartes éparses de profondeur en utilisant des primitives de type segments 3D. La méthode proposée est divisée en deux étapes : la première étape est un algorithme fonctionnant en temps réel basé sur la stéréovision utilisée afin d'extraire d'une scène routière des primitives de type segments 3D. Ces primitives permettent de retrouver les objets verticaux dans la scène routière. Les segments 3-D verticaux sont ensuite utilisés comme un point de départ pour la détection de véhicule ou d'obstacle. En utilisant un opérateur de symétrie, une approche de vision monoculaire qui permet de détecter le véhicule. La deuxième étape de cette méthode est d'utiliser les informations 3-D extraites précédemment ; en conséquence, un calcul précis de distance est effectué.

Toutefois, le traitement d'images a ses propres limites : la précision de la profondeur dépend

d'un calibrage précis du capteur de vision stéréoscopique. Ainsi, elle est inversement proportionnelle à la distance. Les conditions de visibilité réduite comme le brouillard, la pluie ou la neige limitent également la performance d'un système fondé seulement sur la vision.

**La détection de véhicules par fusion de données** Afin d'améliorer le système de détection f technologies des véhicules sur la base de la vision stéréoscopique, une fusion avec un autre type de capteur est nécessaire. L'utilisation d'un capteur actif, comme le radar ou lidar, peut être une solution intéressante au regard des travaux déjà faits sur la fusion d'un système monoculaire et de capteurs actifs [Steux 2002], [Andreone 2002]. [Discant 2008] ont étudié différents types de capteurs de vision passifs comme les caméras infrarouge ou visible et les capteurs actifs comme les radars, laser-scanner ou les capteurs à ultra-son. Ils proposent une solution pour un système de détection d'obstacles basée sur la fusion des informations des différents capteurs. Pour être efficace, les systèmes de détection d'obstacles doivent utiliser une combinaison de technologies passive-active et en général la meilleure solution est obtenue avec un système de vision associé à un capteur de distance comme le radar ou le télémètre laser.

## 2.2.2 Les systèmes ADAS coopératifs

Selon le niveau de communication, les stratégies d'automatisation du trafic sont classées dans [Guo 2009] comme suit :

### 2.2.2.1 Les approches autonomes

Cette approche concerne des paramètres internes aux véhicules où il n'y a pas de communications entre véhicules. Dans les systèmes ADAS, cette approche classique dite autonome consiste à doter le véhicule des capacités de perception pour lui permettre de connaître son environnement sans interaction intelligente avec cet environnement [Ammoun 2007a]. Elle a cependant montré des limites liées à la portée et à la précision des capteurs utilisés [Demmel 2010]. Pour cette raison, les systèmes autonomes ne sont pas complètement parfaits et la pénétration dans le monde de l'automobile demeure un vrai problème.

### 2.2.2.2 les approches coopératives

Le développement et l'évolution rapide dans le domaine des télécommunications sans fil ont rendu possible l'intégration des réseaux VANETs dans les systèmes ADAS en introduisant l'approche de la conduite coopérative [Saf 2006]. Cette approche définit une nouvelle génération des systèmes ADAS [Ammoun 2010]. Le principe de base de cette approche consiste à échanger les informations entre différents véhicules proches et aussi avec l'infrastructure. Son objectif est d'avertir le conducteur de la présence d'un accident ou d'un obstacle sur la chaussée quelques centaines de mètres plus loin. Ensuite, elle peut fournir une couverture étendue dans l'espace et dans le temps de toutes les différentes situations dangereuses. La communication inter-véhicules peut être perçue comme un nouveau capteur "générique" du véhicule en comparaison avec les capteurs proprioceptifs. Selon cette approche, les réseaux véhiculaires peuvent être classés en deux catégories V2I et V2V qui représentent le noyau des systèmes coopératifs vers réaliser la sécurité routière [Toulminet 2008]. Par contre, ces systèmes risquent de souffrir de certaines limitations liées à la portée, la précision des capteurs utilisés, la pénétration du marché et l'extensibilité et surtout la fiabilité de la communication. Cette approche présente des avantages à trois niveaux différents :

- La portée des communications est plus importante que celle des capteurs proprioceptifs.
- Le partage des informations est généralement plus précis, car il n'est pas altéré par la détection et l'estimation des processus réalisés avec les capteurs proprioceptifs.
- La communication fournit une analyse relative de comportement des véhicules et ainsi elle permet une estimation du risque.

La détection des véhicules dans un système de conduite coopérative est basée sur les échanges des données entre véhicules. Dans cette étude, l'auteur a supposé que tous les véhicules sont visibles à travers la communication inter-véhicules. Elle a pour but d'estimer le risque de collision entre les véhicules [Ammoun 2007a].

### 2.2.2.3 L'approche platooning

Un peloton de véhicules est l'une des approches coopératives étudiée dans l'industrie automobile. Dans cette approche, les véhicules forment des groupes communicants en échangeant les informations détaillées à une fréquence élevée. Nous l'expliquons plus en détail dans le

chapitre 4. La figure 2.5 montre un *platooning* de quatre véhicules.



FIGURE 2.5 – *Platooning* de quatre véhicules

### 2.2.3 Le système d'alerte et de prévention du risque

Un système d'alerte communicant doit transmettre des messages d'avertissement en cas de détection d'une situation critique comme par exemple une panne de véhicule, une forte densité de trafic et des conditions dangereuses sur les routes [Salim 2007]. Les systèmes d'alerte existants sont constitués de deux composantes, la détection et la reconnaissance de l'obstacle [Ferlis 2001], [Stubbs 2003], [Funderburg 2004] et [Miller 2002]. Ils sont basés sur des technologies des capteurs et des dispositifs informatiques installés dans les véhicules ainsi que sur l'infrastructure routière. Dans un système d'alerte entre véhicules, différents types d'information doivent être collectés afin d'aider le système et le conducteur à prendre des décisions appropriées. Lorsque l'obstacle ou bien le risque de collision est détecté, le message d'alerte doit être généré et envoyé au conducteur. La figure 2.6 montre les étapes d'une génération d'alerte au véhicule communicant. Dans [Dogan 2005], l'auteur a étudié et évalué un système d'alerte qui aide à prévenir les collisions aux intersections par le développement d'un simulateur de communication entre les véhicules. Il a étudié la possibilité de réaliser plusieurs retransmissions de paquets courts avec un faible taux de données pour améliorer le taux de réussite de ce système.

[Avila 2005] ont présenté une architecture complète d'un simulateur pour les communications entre véhicules basée sur les systèmes d'alerte aux intersections appelé IWS. Celci-ci est capable d'évaluer différents systèmes d'alerte et de protocoles de communication. Les résultats des simulations montrent qu'IWS peut réduire, de façon significative, à la fois les collisions et



FIGURE 2.6 – La génération d’alerte au véhicule communicant

la vitesse au moment de l’impact lorsque la collision est inévitable.

Dans [Ammoun 2007b], l’auteur a présenté un système anti-collision basé sur l’échange d’informations GPS entre véhicules. L’inconvénient de son système est qu’un véhicule équipé d’un GPS ne pourra pas communiquer avec un autre non équipé. Cela rend ce système inefficace jusqu’à ce qu’un grand nombre de véhicules soient équipés. Dans [Senouci 2007], nous retrouvons des systèmes similaires analysant les changements de voie avec angles morts. Ils peuvent donner une alerte en prenant en compte les changements de voie et donner une alerte collision en cas d’intersection. Nous pouvons remarquer que le système de communication entre véhicules est essentiel pour effectuer une alerte et prévenir les collisions.

## 2.3 Système de communications inter-véhicules

### 2.3.1 Introduction

Les réseaux sans fils avec leurs multiples architectures représentent une solution vers des systèmes de communication entre les véhicules et aussi entre les véhicules et les infrastructures. Ces réseaux ont pour vocation d’améliorer la sécurité routière avec la prévention des collisions, le freinage d’urgence, la signalisation des accidents et de fournir des services au conducteur pour réduire les embouteillages, ou échanger des informations pratiques. Notant que, la découverte, la connexion, la maintenance et la fermeture sont des facteurs essentiels pour réaliser une communication bidirectionnelle entre deux véhicules.

### 2.3.2 Le modèle OSI

L'Organisation internationale de normalisation (ISO) a développé un projet de l'interconnexion de systèmes ouverts (OSI) depuis 1977. Il est devenu un modèle largement accepté pour la compréhension des réseaux de communication. Ce modèle OSI comporte sept couches comme le montre la figure 2.7 :

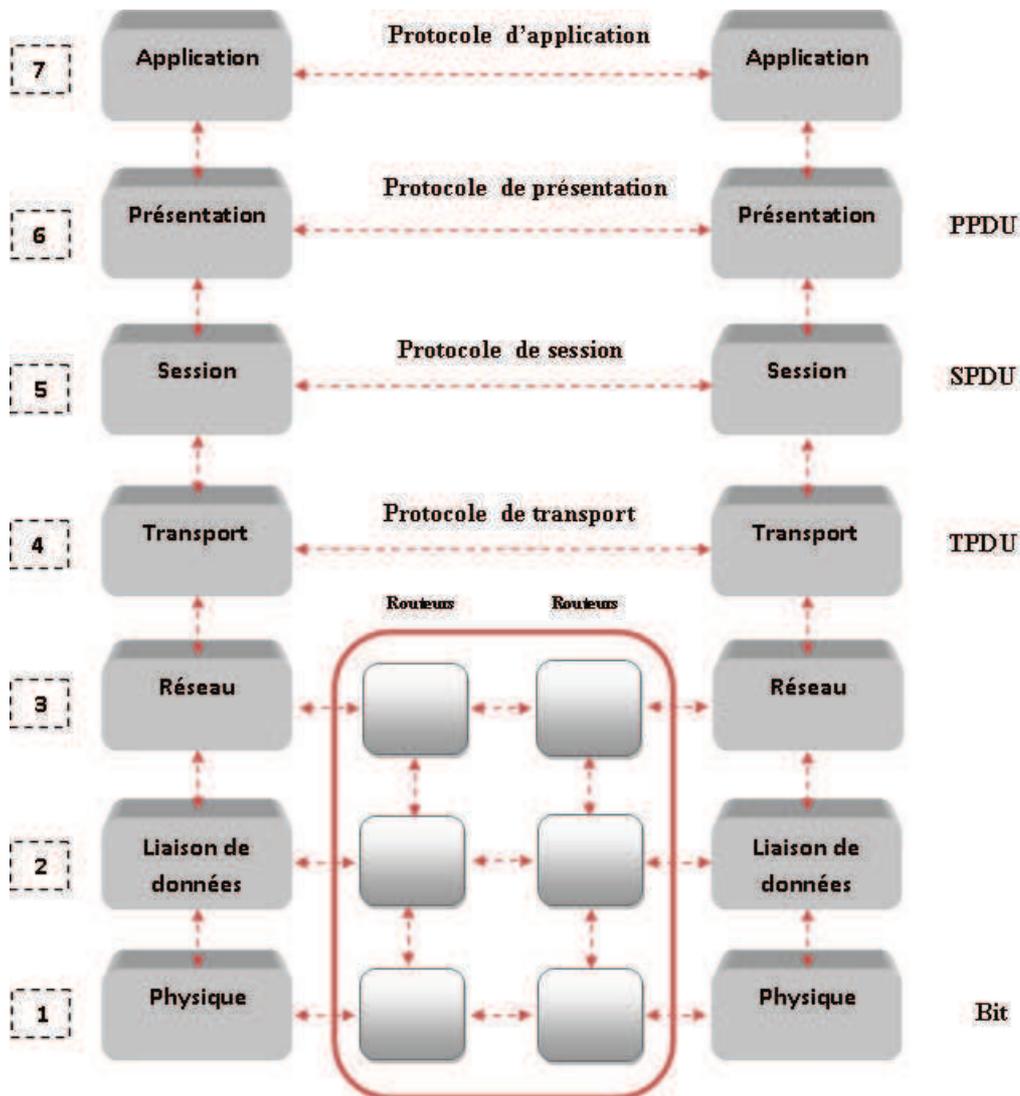


FIGURE 2.7 – Le modèle de référence ISO

C'est indispensable de comprendre le fonctionnement de ce modèle pour comparer les implémentations de réseaux de communication sur différents systèmes. Lorsque vous voulez communiquer avec une autre personne, vous devez avoir deux choses principales en commun : un langage de communication et un moyen de communication. Pour établir une communication

sur un réseau composé d'une variété de dispositifs, la langue et les moyens de communication doivent être clairement définis. Le modèle OSI (le réseau et les modèles développés par d'autres organisations) tente de définir des règles qui couvrent à la fois les généralités et les spécificités des réseaux. Ainsi, il donne une possibilité de mieux comprendre les interactions complexes qui se passent entre les différents dispositifs sur un réseau. Il a été initialement conçu pour répondre aux besoins des réseaux filaires. Mais les réseaux sans fil ont des caractéristiques différentes des réseaux filaires (mobilité, qualité du signal...). Malgré ces particularités, le passage au monde sans fil a gardé le principe de conception en couche du modèle OSI.

### 2.3.3 Les technologies de communications pour les réseaux véhiculaires existantes

Dans la figure 2.8 nous présentons les différents standards des réseaux sans fil.

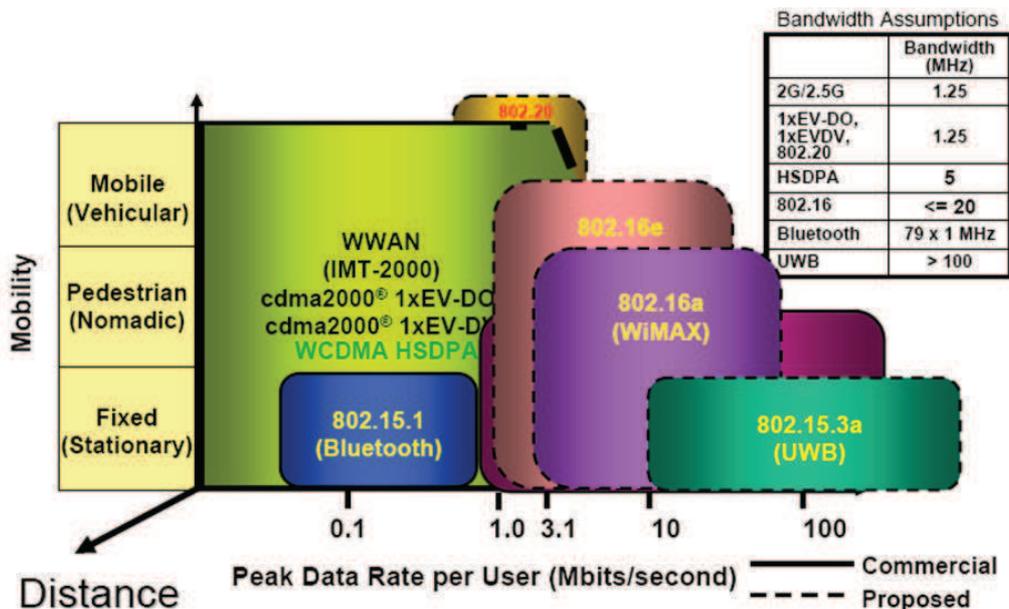


FIGURE 2.8 – Les différents standards des réseaux sans fil

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

- Systèmes qui réutilisent des infrastructures existantes, systèmes cellulaires de 2G vers 3G et d'autres évolutions (GSM, GPSR, 3GPP *Long Term Evolution* (LTE)).
- Réseaux locaux sans fil (*WLAN*) qui sont principalement constitués des normes IEEE

802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMAX).

- Réseaux Ad-hoc.
- Réseaux de capteurs sans fil.
- InVANET.

Dans le cadre de notre travail, nous nous intéressons, plus particulièrement, à la norme WiFi 802.11g qui est actuellement utilisée pour faire communiquer les véhicules sur la route, la technologie de réseaux Ad-hoc et enfin la technologie des réseaux véhiculaires. Cette technologie doit évoluer vers la 802.11p dédiée aux communications V2V.

### 2.3.3.1 WiFi et le protocole IEEE 802.11

Wi-Fi est un terme général pour un ensemble de normes techniques. L'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) est l'organisme qui définit ces normes techniques. IEEE a approuvé la première norme Wi-Fi 802.11 en 1997. En effet, les réseaux WiFi permettent de faire communiquer des équipements compatibles en se basant sur des normes ou des protocoles communs qui se manifestent à travers des bornes d'accès publiques appelées HotSpots qui se trouvent un peu partout : restaurants, aéroports, facultés, etc. Les normes IEEE 802.11x sont utilisées avec les réseaux locaux sans fil. Les normes utilisées aujourd'hui sont :

- 802.11a : Elle offre une portée d'environ 100 pieds ((33) mètres) à l'intérieur des bâtiments et un débit moyen de transmission égal à 25 Mbps.
- 802.11b : Elle est une amélioration par rapport au 802.11a en terme de portée de communication. Elle couvre une portée maximum de 300 mètres, mais elle est beaucoup plus lente. Le débit moyen de transmission de données est de 6,5 Mbps.
- 802.11g : Cette norme est la plus utilisée. Elle a une portée de 33 mètres à l'intérieur des bâtiments et un débit moyen de 11 Mbps.
- 802.11n : Elle est une norme expérimentale de portée égale à environ 160 pieds pour un débit moyen de 200 Mbps. Cette norme n'est pas entièrement approuvée pour le moment ce qui explique sa faible utilisation.

Ces dernières normes ont constitué, ces dernières années, des solutions de connexion offrant une mobilité, une flexibilité et un faible coût de déploiement et d'utilisation. Par exemple, beaucoup d'études utilisent les versions IEEE 802.11b ou IEEE 802.11g, car elles sont très

répandues et fabriquées à bas coût [Gast 2005]. Parmi les applications de ce protocole, nous pouvons citer les réseaux inter-véhicules. Un tel réseau, à forte dynamique, met à l'épreuve les performances de la norme IEEE 802.11.

La perception de l'environnement réalisée par un véhicule automobile est basée, actuellement, sur les moyens propres du véhicule, comme des caméras embarquées, des capteurs ultrason ou ses capteurs proprioceptifs. Or, la nature complexe de la fonction de perception, peut engendrer des situations ambiguës où il est difficile de déterminer, avec certitude, l'élément détecté. L'équipe d'Université de Technologie de Compiègne a étudié la performance d'IEEE 802.11 pour la communication dans un convoi de véhicules [Marlier 2007]. Ses résultats obtenus avec des simulations sous ns-2, ont confirmé que la norme IEEE 802.11 peut être utilisée pour la communication inter-véhicules avec un faible débit [Khaled 2005a]. Cette limitation du débit est causée par la gestion de l'accès au canal et par les collisions. Dans cette étude, Khaled a simulé des communications avec plusieurs véhicules, en prenant en considération la topologie spécifique de ce type de réseaux. De plus, les résultats ont montré que l'ajout d'hypothèses heuristiques appropriées pour la retransmission des paquets dans un convoi de véhicules pouvait améliorer le taux de réception et le délai moyen de bout en bout. Elles permettent de prendre en considération la forte mobilité et la dynamique du réseau. La figure 2.9 montre les couches du modèle 802.11(IEEE).

Comme tous les standards IEEE 802, le standard 802.11 se concentre sur les deux premiers niveaux, la couche physique et la couche liaison de données. Il s'attache à définir les couches basses du modèle OSI pour une liaison sans fil utilisant des ondes électromagnétiques. A savoir que la couche physique propose trois types de codages de l'information. En plus, la couche liaison de données est constituée de deux sous-couches : une couche de contrôle de la liaison logique (Logical Link Control, ou LLC) et une couche de contrôle d'accès au support (Media Access Control, ou MAC).

Les limitations de la couche MAC dans un environnement de forte mobilité ont conduit à étudier l'effet de la norme 802.11g sur les communications entre véhicules. En fait, cette norme propose un débit plus important que celui de la norme 802.11b [Khaled 2007]. Un canal de communication sans fil, appelé DSRC pour Dedicated Short-Range Communications, fonctionnent dans la bande 5.9 GHz aux Etats-Unis ou la bande 5.8 GHz en Europe et au Japon, a été spécifiquement conçu pour les communications véhiculaires. Le modèle IEEE 802.11 a été testé et

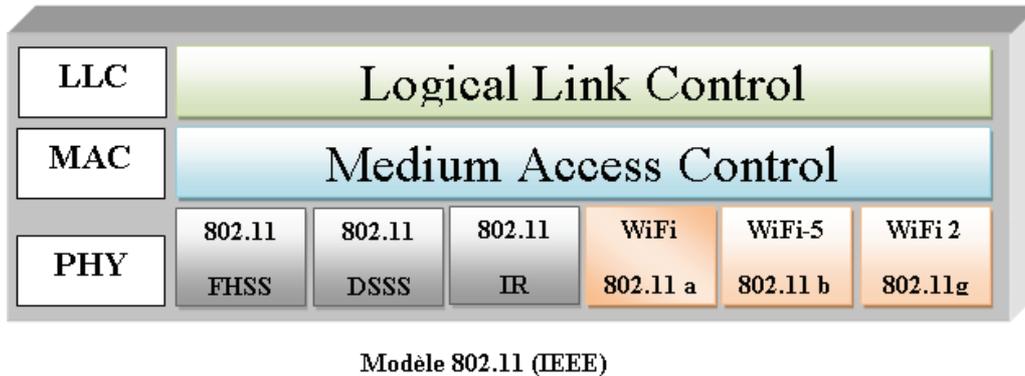


FIGURE 2.9 – Les couches du modèle 802.11 (IEEE)

développé sous ns-2 afin d'évaluer les technologies d'accès sans fil dans les réseaux véhiculaires et la performance des applications véhiculaires. La première simulation utilisait la technique de handover dans les réseaux véhiculaires et les résultats de simulation. La technique de handover constitue une procédure de transfert des données d'une station de base à l'autre. Elle démontre que la nouvelle norme IEEE 802.11-p est la solution idéale spécialisée pour les communications DSRC en comparaison avec les autres standards 802.11 [Gukhool 2010].

En 2010, une implémentation de prototype du protocole IEEE 802.11p a été effectuée pour échanger des données entre les véhicules et entre les véhicules et les infrastructures routières [Carona 2010]. L'architecture de ce prototype est basée sur une architecture FPGA pour les Fréquences Intermédiaires (FI) en utilisant la norme 802.11a comme base émetteurs-récepteurs pour les interfaces RF. Cette mise en œuvre vise à fournir des solutions techniques pour les systèmes de transports intelligents sur le terrain, notamment pour les services de gestion de péage. Cette norme a été testée dans des conditions de conduites réalistes de types urbains et périurbains. Les résultats préliminaires sont prometteurs, puisqu'ils sont conformés avec la plupart des exigences de la norme 802.11p. En condition de visibilité directe, la communication est possible à environ 400m avec des FER (Frame Error Rate) /BER (Bit Error Rate) faibles et avec une puissance isotrope rayonnée équivalente notée EIRP de 22dBm. Cependant, même à des distances plus courtes, la communication est affectée par des obstacles tels que les arbres ou les bâtiments. Cet effet peut être surmonté, bien sûr, avec l'augmentation de la puissance transmise.

Dans l'autre scénario testé (péage, tolling) les résultats ont été très satisfaisants, car les tests se déroulaient sur des routes ouvertes. La ligne de visibilité directe a été généralement

disponible. Mais le contact a été parfois perdu en raison de la végétation ou d'autres véhicules. Nous pouvons noter que cette configuration permet d'établir une communication à des distances supérieures à 1000 (m) avec la même valeur de la puissance EIRP de 22 dBm.

### 2.3.3.2 Réseaux Ad-Hoc

L'utilisation d'appareils sans fil portatifs dans la vie quotidienne, tels que les ordinateurs portables, téléphones mobiles et PDA, a conduit à créer une communication spontanée ou nommée aussi ad-hoc sans fil. Les réseaux ad-hoc sont définis comme des réseaux informatiques sans fil autonomes et non centralisés. Chaque entité communique directement avec tous les nœuds qui se situent dans la portée de la couverture radio comme l'indique la figure 2.10. En revanche, pour communiquer avec d'autres entités qui ne sont pas dans la zone de couverture, il est nécessaire de faire passer ses données par d'autres nœuds qui se chargeront de les acheminer. C'est le rôle du protocole de routage qui cherche à construire les routes entre les nœuds qui ont besoin de communiquer entre eux.

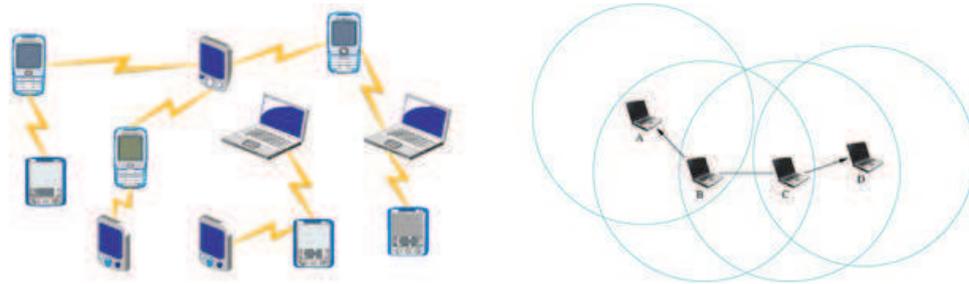


FIGURE 2.10 – Exemple d'un réseau Ad-Hoc

Ainsi, le fonctionnement d'un réseau Ad-hoc est différent de celui d'un autre réseau comme le réseau GSM ou les réseaux WiFi avec des points d'accès. Dans ces réseaux, une ou plusieurs stations de base sont nécessaires à la plupart des communications entre les différents nœuds du réseau, c'est le mode Infrastructure. Les réseaux Ad-hoc s'organisent eux-mêmes et chaque nœud peut jouer différents rôles. L'utilisation la plus simple et la plus courante des réseaux Ad-hoc correspond à une connexion sans fil entre deux ordinateurs. Les réseaux MANETs définissent de nouveaux protocoles de routage basés sur la technologie IP pour les réseaux ad-hoc, mobiles ou fixes. Ce type de réseaux permet de mettre en œuvre des nœuds de communication avec une grande mobilité, une grande réactivité et un déploiement rapide. Il est interconnecté avec

différents types de réseaux reposant eux aussi sur une technologie IP et employant différents protocoles de routage.

### 2.3.3.3 Réseaux véhiculaires (VANETs)

L'évolution récente des systèmes de communications sans fil a conduit à la création d'un nouveau type de réseaux appelés VANET qui est une classe émergente de réseaux sans fil et surtout une classe spéciale de réseaux MANETs. Ces réseaux combinent différents types de communication, à savoir, les communications de véhicule à infrastructure télécom, les communications de véhicule à infrastructure routière et enfin les communications véhicule à véhicule. La norme InVANET, ou Intelligent Vehicular Ad-Hoc Networking, peut être définie comme une manière intelligente d'utiliser des véhicules du réseau. InVANET intègre de multiples technologies de réseau ad-hoc comme la norme IEEE 802.11 b/g dite WiFi, la norme WiMAX IEEE 802.16 et les normes Bluetooth, IRA, ZigBee pour obtenir une communication facile, précise, efficace et simple entre les véhicules. Elle permet de définir les mesures de sécurité et le streaming pour tout type de contenu dans les communications entre les véhicules.

L'objectif des réseaux véhiculaires est de réduire les délais en utilisant la communication de véhicule à véhicule et d'augmenter la couverture du réseau de l'opérateur tout en réduisant la charge du réseau. En conséquence, les véhicules communicants seront bientôt une réalité. Au fait, ce type de communication est proche de l'environnement des réseaux ad-hoc mobiles et par conséquent, des problématiques propres aux réseaux de véhicules doivent être analysées de près. Ainsi, certaines solutions existantes pour les réseaux MANETs doivent être rectifiées, révisées et bien adaptées aux réseaux VANETs [LABIOD 2006]. Afin d'analyser ces réseaux (voir figure 2.11), il est important d'étudier leurs caractéristiques spécifiques et de comparer tous les types d'architectures.

**Les caractéristiques des VANETs** La communication dans les réseaux VANETs répond à certaines caractéristiques très contraignantes comme :

- Le changement dynamique de la topologie du réseau et des ressources.
- La complexité de la gestion de la mobilité des nœuds.
- Le partitionnement fréquent du réseau.
- Le diamètre du réseau petit et efficace.

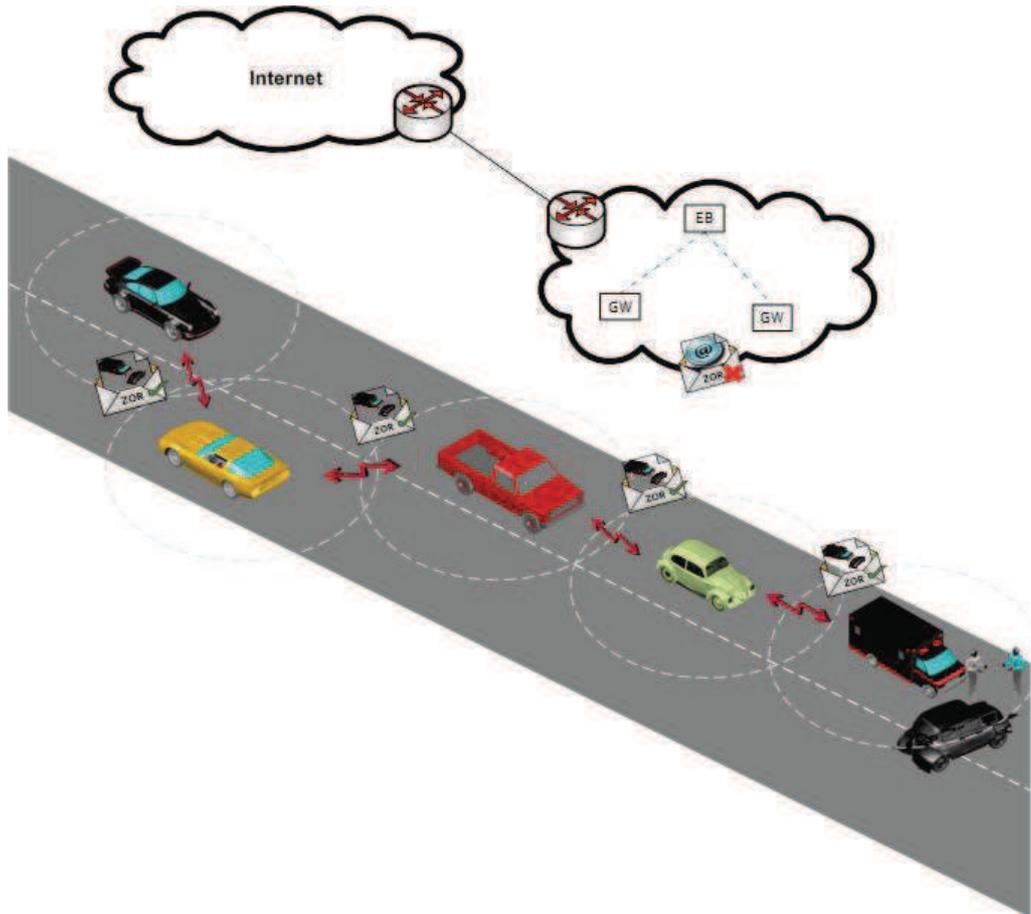


FIGURE 2.11 – Services dans les réseaux VANETs  
[Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda 2011]

- La redondance limitée dans le temps.
- La prévision de la position.
- La puissance relative des émissions qui doit être suffisante.
- Le délai et le débit très variables dépendant de plusieurs facteurs tels que le nombre d'utilisateurs, les interférences, les multitrajets , etc.

### 2.3.4 Architecture de réseaux VANETs

Nous abordons dans cette section trois modèles essentiels pour concevoir une architecture de réseaux de type VANETs.

### 2.3.4.1 Communications de véhicule à véhicule (V2V)

Dans cette approche, un réseau de véhicules va réaliser la communication entre les véhicules. Le réseau entre les véhicules est réalisé en utilisant la technologie sans fil WiFi. Cette architecture de communication peut être utilisée dans les scénarios de diffusion d'alerte (freinage d'urgence, collision, ralentissement, etc...) ou pour la conduite coopérative. En général, dans cette architecture de communication, une communication ad-hoc multi-sauts est plus efficace qu'une communication passant par un réseau d'opérateurs [Jerbi 2008b]. Les V2V vont établir une architecture réseau VANET afin d'échanger les données des véhicules. Ces données sont leurs positions, leurs vitesses et leurs directions respectives, ils développent une sorte de « sixième sens » qui leur permet de rendre le trafic beaucoup plus fluide en évitant les perturbations. La figure 2.12 présente un scénario de communication entre cinq véhicules.

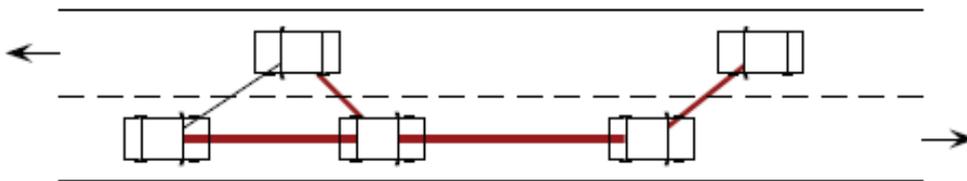


FIGURE 2.12 – Scénario de communication entre cinq véhicules

### 2.3.4.2 Communications de véhicule à Infrastructure (V2I)

Un certain nombre d'applications pour les systèmes des transports intelligents impliquent des communications véhicules-infrastructures d'où la tendance de relier les réseaux de véhicules à l'internet afin de fournir une grande gamme de services, pour le passager, le constructeur automobile ou l'exploitant d'infrastructure.

L'architecture V2I utilise des points d'infrastructure RSU1 (Road Side Units). L'architecture V2I est une architecture dédiée à la remontée d'information depuis les véhicules vers l'infrastructure RSU, en utilisant soit des points d'accès WiFi, soit des connexions 3G. Cette architecture supporte IPv4 (Internet Protocol version 4) et IPv6 (Internet Protocol version 6) pour atteindre le serveur final d'Internet, selon les disponibilités du réseau d'infrastructure trouvé. Cependant elle ne repose pas sur l'adresse IP pour les communications véhicule-véhicule [Ducourthial 2009].

### 2.3.4.3 Communications hybrides

La combinaison des réseaux V2V avec les réseaux V2I permet d'accomplir une communication hybride très intéressante. Un cas particulier de l'architecture hybride est les réseaux VSN (*Vehicular Sensor Networks*). En effet, les réseaux VSN sont définis comme une nouvelle architecture de réseaux de véhicules, qui a pour objectif de collecter et de diffuser en temps réel des données relatives à l'environnement dans lequel des véhicules se trouvent plus particulièrement en zones urbaines. Les voitures sont effectivement munies de plus en plus des capteurs comme nous l'avons vu dans la section 2.2. Ces capteurs peuvent être utiles pour l'acquisition des informations concernant le trafic routier (embouteillages, ralentissements, vitesse moyenne du trafic, etc...), ou encore des informations plus générales telles que les places du parking disponibles, la consommation moyenne de gazoline, le taux de pollution, les dispositifs de surveillance. La figure 2.13 montre l'architecture de réseaux VANETs.

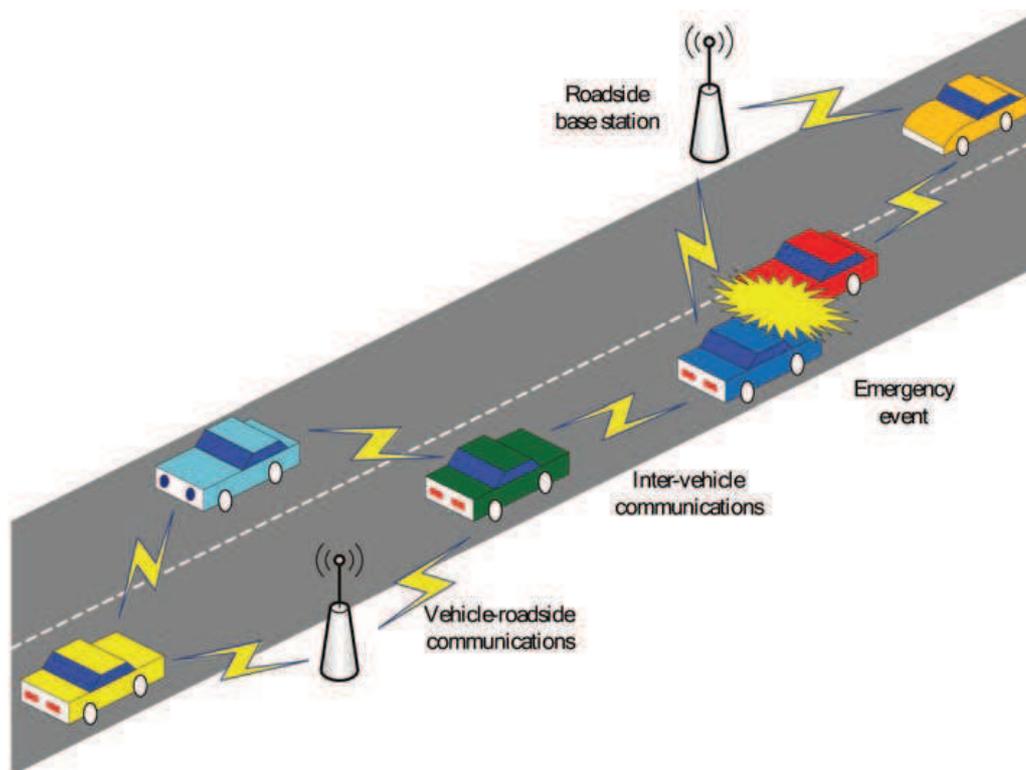


FIGURE 2.13 – Architecture de réseaux VANETs [Guo 2009]

Les communications entre véhicules permettent d'améliorer la capacité de détection par l'intégration des nouvelles technologies. Ces technologies sont nécessaires pour réduire le manque de précision et d'efficacité du GPS, ainsi que la pénétration du marché en équipant les véhicules

par des capteurs supplémentaires. Ces capteurs ne se fondent pas seulement sur la communication afin d'obtenir des informations sur l'environnement [Demmel 2010]. Par conséquent, les systèmes ADAS assurent une bonne réception des informations valides et précises sur les distances de véhicules et aussi rendent possible l'échange des données mesurables par un système autonome.

### 2.3.5 Les grands projets sur les véhicules communicants

Un grand nombre de projets internationaux entre le Japon, les Etats-Unis et l'Europe ont utilisé la technologie de la communication entre véhicules afin de réaliser des services dédiés aux systèmes de transports intelligents.

L'une des premières études sur les communications inter-véhicules a été lancée par la JSK (*Association of Electronic Technology for Automobile Traffic and Driving*) au Japon dans le début des années 1980 et le concept de la conduite coopérative fut introduit dans les années 90. Ce concept était à l'origine destiné à des applications de suivi en peloton. Elles utilisaient des communications à courtes portées. Dans le cadre du projet IVC (*Inter vehicle communication*), de nouveaux systèmes coopératifs pour la conduite ont été développés au Japon dans les années 1990 et 2000 [Tillema 2006]. Plus tard, d'autres résultats associés au *platooning* ont été présentés dans le projet PATH [Pat 1986] et le projet "Promote-Chauffeur" de l'UE.

#### 2.3.5.1 Principaux projets européens

Plusieurs projets européens ont été menés sur le thème des communications véhicule à véhicule et véhicule-infrastructure à courte portée, pour proposer de nouvelles architectures et de nouveaux services.

**FleetNet :** FleeNet (nommé FleetNet - Internet on the Road) est un projet conduit et élaboré par l'Allemagne pendant les années 2000-2003 [Festag 2004], dans le cadre d'un consortium de six industries et de trois universités. L'objectif principal de ce projet fut de développer une Plate-forme complète pour les VANET. Il a traité également les problématiques de routage et d'accès au canal et il a également proposé de nouveaux services et applications, tels que l'accès à Internet qui est l'application principale de ce projet.

**CarTALK 2000 : 2001-2004 :** CarTALK 2000 est un projet européen qui s'est focalisé sur les systèmes d'aide à la conduite, basés sur la communication inter-véhicules [Morsink 2003]. Le but principal de ce projet est de travailler sur la conduite coopérative et les réseaux autonomes. Les travaux de CarTalk 2000 se sont basés, principalement, sur les couches basses et l'acheminement des messages dans les VANET.

**IVHW :** L'objectif du projet IVHW (Inter-Vehicle Hazard Warning) est de développer un concept commun de système d'alerte inter-véhicules, de mesurer son impact potentiel et d'identifier les conditions de mise en œuvre sur le marché. Le projet est conduit par un consortium franco-allemand dans le cadre du programme DEUFRAKO1. C'est un projet de deux ans qui a démarré en janvier 2001. IVHW a fait l'objet d'une démonstration en conditions réelles de circulation lors du congrès E-Safety qui s'est tenu à Lyon en septembre 2002 et il en est de même dans d'autres pays comme les Etats-Unis ou le Japon.

IVHW est un système permettant à un conducteur, circulant sur une route ou une autoroute et se trouvant devant une situation dangereuse, d'alerter les véhicules voisins, bien avant qu'ils n'arrivent sur la zone à risque. Typiquement, le système IVHW vise à étendre la portée des feux de détresse, afin d'être plus efficace. Comme le système est « intelligent », seuls les conducteurs, concernés par le danger, reçoivent le message d'alerte [Chevreuil 2002].

**DRiVE (Dynamic Radio for IP Services in Vehicular Environments) :** DRiVE [DRi 1999] est un projet qui vise à travailler sur la convergence entre différentes technologies cellulaires et de réseaux hauts débit (GSM, UMTS, DAB et DVB-T) afin de mettre en place le substrat nécessaire au développement des services IP innovants à destination des véhicules.

**DRIVE-IN (Distributed Routing and Infotainment through Vehicular Inter- Networking) :** DRIVE-IN est un projet de recherche approuvé dans l'appel à propositions en 2008 pour ICTI (Information and Communication Technologies Institute) et de la Carnegie Mellon Université- Programme Portugal (Carnegie Mellon | PORTUGAL). DRIVE-IN est inclus dans le programme de recherche sur les nouveaux réseaux de nouvelle génération de fonctionnement de la confiance et de la politique des télécommunications (NGN). Le but de DRIVE-IN est d'étudier comment la communication de véhicule à véhicule peut améliorer l'expérience des

utilisateurs et l'efficacité globale du véhicule et optimiser l'utilisation de la route. Il traite à la fois les fondations et les applications des communications inter-véhicules. En effet, les concepts, les méthodes et les technologies sont développés dans les trois principaux axes de recherche :

1. Géo-protocoles optimisés VANET
2. Routage intelligent et coopératif
3. Les applications et les services VANET.

Ces axes de recherche vont fertiliser les activités horizontales en couvrant de simulations réalistes à grande échelle et les expériences massives en temps réel dans le milieu urbain.

**SAFESPOT** : SAFESPOT [Saf 2006] (Cooperative vehicles et road infrastructure for road safety), qui a été élaboré au même temps que CVIS [CVI 2006]. COOPERS (Routage automobile) [Toulminet 2008] est orienté essentiellement afin d'améliorer la sécurité routière et a aussi pour but de prévenir les accidents en découvrant des situations routières potentiellement dangereuses à l'avance. Ainsi, il propose de développer un ensemble d'assistance, fournissant au conducteur une indication de sa marge de sécurité en lui signalant le danger suffisamment à l'avance de l'approche d'une difficulté.

**SeVeCom** [Papadimitratos 2008] : La sécurité des communications dans les réseaux VANET a été traitée dans le projet européen SeVeCom (Secure Vehicular Communication). Sa problématique est de définir une architecture des VANET incluant la sécurité et l'anonymat de la communication véhicule à véhicule et véhicule à infrastructure.

**C2C-CC (Car to Car Communication Consortium)** : Un consortium européen, nommé C2C (Car2Car) [Baldessari.R 2007] pour étudier les communications V2V, a été créé en 2001 dans le but de proposer un standard pour les VANET au niveau du routage, de la sécurité ou des basses couches du réseau. Dans le cadre de l'amélioration de la norme IEEE 802.11 un groupe de travail a récemment défini un nouveau standard de communication pour les VANET, nommé IEEE 802.11p (Wireless Access in Vehicular Environment : WAVE). Cette norme utilise le concept de multicanaux afin d'assurer les communications pour des applications de sécurité et pour d'autres services [Jiang 2008]. La couche physique est composée de sept canaux de 10 MHz chacun. La bande de fréquence est supérieure à 5 GHz. Les canaux sont divisés en

trois familles : les canaux de contrôle, les canaux de service et les canaux de sécurité. Notons qu'un nœud ne peut pas les utiliser simultanément, mais il peut les alterner. La couche MAC de WAVE [Eichler 2007] est gérée en utilisant des priorités d'accès identiques à celles de la norme IEEE 802.11e ou du protocole HYPERLAN2.

### 2.3.6 Expérimentation de communication entre véhicules

Afin d'évaluer et de valider un système d'ingénierie, il est nécessaire de réaliser une bonne modélisation et une conception fiable. Cela doit être suivi d'expérimentations pour prouver que ce système fonctionne très bien et qu'il présente des résultats acceptables. Cette section traite des différentes expérimentations qui ont été établies dans le domaine des réseaux entre véhicules.

Dans [Rigas 2008], les auteurs ont développé une nouvelle Plate-forme coopérative pour la conduite appelée (I-WAY) qui améliore d'une manière significative les perceptions de l'environnement routier par les conducteurs. Les informations fiables et utiles obtenues sont fournies au conducteur à partir d'un système de détection embarqué, de la route et des infrastructures ou des voitures voisines. Le système d'analyse I-WAY est un système d'aide à la décision par la fusion de différentes sources d'information afin de fournir au conducteur une stratégie optimale d'alerte sur les dangers à venir. Le testbed qu'ils ont utilisé est considéré comme un aspect très important dans le domaine des communications inter véhicules.

Yacine Khaled a présenté, dans son projet de recherche [Khaled 2007], la plate-forme Caremba pour l'étude des Communications et Applications Réparties EMBArquées. Caremba était développée pour les réseaux modulaires de véhicules autour d'un module noyau "Airplug" qui contrôle la réception et l'émission des messages entre les nœuds, en utilisant une plate-forme de simulation de l'environnement conçue dans un simulateur de réseaux (ns-2). La Plate-forme "Airplug", développée au sein du laboratoire Heudiasyc à l'université de technologie de Compiègne UTC, permet de gérer facilement les communications inter-applications dans un module ou via des communications WiFi. "Airplug-ns" a été implémenté comme un agent de routage, où plusieurs autres modules communicants.

Cette configuration permet de tester la dynamique des réseaux de véhicules et aussi d'intégrer des solutions algorithmiques efficaces. Elle permet aussi de faire des tests sur les routes,

ou en laboratoire avec un émulateur Airplug-ns. Cette architecture a permis d'ajouter de nouvelles applications de manière efficace et d'intégrer, avec succès, de nouveaux modèles dans le système. Ces solutions ont été testées et validées par plusieurs simulations et scénarios sous ns-2 ainsi que dans un environnement réel afin d'évaluer les comportements de ces Plate-formes dans différentes situations.

Dans [Jerbi 2008a], les résultats d'une évaluation de la performance des systèmes de communication multi-hop (V2V et V2I) basés sur la technologie IEEE 802.11b sont présentés. Les auteurs ont également montré que la distance et la ligne de visibilité directe (*LOS*) sont les deux principaux facteurs qui affectent le réseau de communication dans les expériences. Les résultats expérimentaux ont montré également que le réseau ad-hoc pourrait prolonger la portée de transmission des infrastructures et améliorer le temps de connexion pour les voitures en mouvement.

Dans [Hui 2005], les auteurs mesurent la qualité des liaisons entre des véhicules dans un milieu autoroutier, dans des milieux urbains et ou interurbains. Les résultats des mesures indiquent que pour les réseaux qui utilisent la technologie *WLAN*, la zone interurbaine est la plus favorable et les conditions dans les milieux urbains sont les plus hostiles pour la communication inter-véhicules.

Dans [Singh 2002], les auteurs ont présenté des mesures expérimentales sur la communication véhicule à véhicule (V2V) avec plusieurs scénarios. Afin d'étudier les facteurs critiques qui affectent les applications multimédia sur la norme IEEE 802.11 VANET, ils ont montré qu'en plus du transfert des messages courts, le déploiement d'applications multimédia est réalisable. Ils ont constaté que les performances du réseau sont nettement différentes en fonction de l'environnement (ville, autoroute, etc), de la distance entre véhicules et de la vitesse des véhicules.

### 2.3.7 Les protocoles de routage

Le routage est le processus de transmission des données entre deux nœuds considérés comme source et destination d'information. Des messages multi-sauts sont envoyés dans un chemin calculé entre la source et la destination selon le protocole de routage. Plus précisément, les protocoles de routage sont chargés de déterminer la façon de relayer le paquet à sa destination,

la façon de calculer la route et aussi d'ajuster la trajectoire en cas d'échec et comment améliorer la connectivité de données. Un bon protocole de routage est celui qui est capable de livrer un paquet dans un temps très court et un minimum de bande passante.

Dans cette section, nous présentons les différents protocoles des couches de communication et les travaux de simulation de réseaux analysant la fiabilité des communications entre les véhicules. Le problème de routage réside principalement dans l'instabilité des chemins causée par la forte mobilité des nœuds et les fragmentations fréquentes du réseau [Jerbi 2008a]. Nous présentons les principaux protocoles de routage pour les réseaux MANETs et VANETs.

### 2.3.7.1 Protocoles de routage pour MANETs

Des travaux nombreux ont été effectués pour étudier les protocoles de routage dans les réseaux MAENTs et les réseaux VANETs. Comme le montre la figure 2.14, nous avons différentes catégories de protocoles de routage pour les réseaux ad-hoc. Chaque catégorie a sa spécificité :

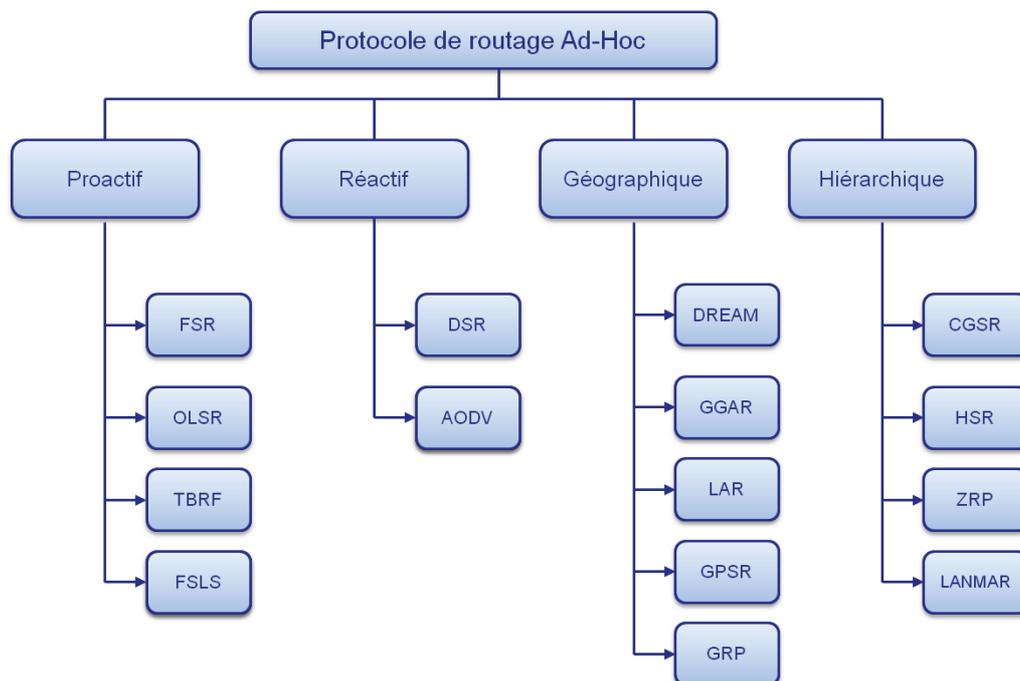


FIGURE 2.14 – Classification des protocoles de routage pour MANETs [Jerbi 2008a]

#### Protocoles basés sur la topologie

1. Les protocoles proactifs comme DSDV (*Destination Sequence Distance Vector*) et OLSR

(*Optimized Link State Routing*) [Clausen 2003]

2. Les protocoles réactifs qui utilisent les adresses IP pour localiser les nœuds comme DSR (*Dynamic Source Routing*) [Johnson 2001] et AODV (*Ad-hoc on Demand Distance Vector*) [Chakeres 2005].
3. Protocoles de routage hybride (Hiérarchiques) comme ZRP (*Zone Routing Protocol*).

**Protocoles basés sur la position géographique** Les protocoles de cette catégorie sont basés sur la location d'informations tels les protocoles Géographiques comme GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) [Karp 2000]. Les avantages et les inconvénients de ces protocoles sont présentés dans le tableau 6.2.

TABLE 2.2 – Options disponibles pour la configuration des nœuds

Protocoles	Avantages	Inconvénients
Proactifs	Adaptés aux réseaux à forte mobilité, Adaptés aux réseaux denses de taille moyenne	Capacité d'échange du réseau limitée, Consommation d'énergie plus importante
Réactifs	Trafic de contrôle faible, Adaptés aux grands réseaux, Consommation d'énergie réduite	Temps de réaction long, Problème en cas de forte mobilité
Hybrides	Adaptables aux réseaux, Consommation d'énergie réduite	Recherche des routes complexe Temps de réaction long, Ressources CPU et mémoire
Géographiques	La position des nœuds est connue, Limitation du trafic	Utilisation d'un GPS, Ressources CPU et mémoire

En effet, des résultats des simulations sous ns-2 ont montré que le protocole DSR est plus performant que le protocole AODV, car dans ce dernier, il manque un mécanisme de détection de voisinage dans lequel chaque nœud doit déterminer ses voisins symétriques directs [Guo 2009]. Par contre, DSR souffre d'un délai très élevé lorsque la topologie de réseau change d'une façon permanente à cause de la forte mobilité [Jaap 2005]. Chaque véhicule dans le réseau doit avoir une table de voisinage pour garder la position géographique de ses voisins. De plus, le protocole AODV augmente la surcharge de routage en fonction de la distance entre les nœuds. En revanche, les protocoles de routage fondés sur les positions ont montré des performances

excellentes en termes de ratio de délai de bout en bout et de bonne livraison des paquets [Guo 2009].

### 2.3.7.2 Protocoles de routage pour VANETs

La plupart des protocoles de routage de réseaux VANETs utilisent l'information de position afin d'améliorer leurs performances d'une façon compatible avec leurs besoins, tels que le changement de topologie dynamique et la fragmentation du réseau fréquente. Les techniques de routage sont utilisées depuis longtemps dans les réseaux MANETs et la plupart de celles-ci peuvent également être appliqué dans les VANETs. La figure 2.15 nous montre plusieurs catégories de protocoles de routage pour les réseaux VANETs :

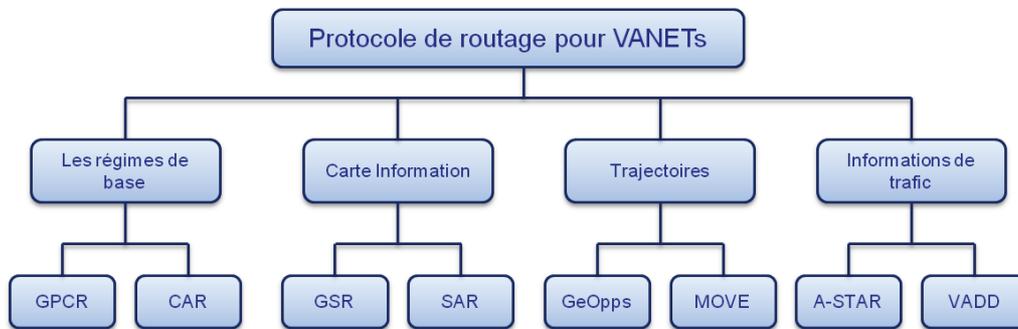


FIGURE 2.15 – Classification des protocoles de routage pour VANETs [Guo 2009]

Les informations de route de source sont valables pendant une période de temps limitée. La performance de GPSR a été évaluée et comparée à celle de DSR dans des scénarios de trafic routier [Füßler 2002]. Cette évaluation a montré que le protocole de routage basé sur la position (GPSR) est plus approprié que le protocole basé sur la topologie (DSR) pour les réseaux VANETs [Senouci 2007] a aussi indiqué que le routage basé sur la localisation (GPSR) peut être très robuste dans le cas des réseaux à large échelle. Il représente un bon candidat pour les communications entre véhicules. Dans le cadre des réseaux de véhicules, des solutions de routages intéressantes sont proposées pour réaliser un couplage entre un algorithme de routage basé sur la localisation et la cartographie des routes [Jerbi 2008a]. Le développement d'une nouvelle approche de routage qui utilise les informations de position est motivé en raison de la disponibilité des systèmes GPS et des cartes numériques dans tous les véhicules. Dans cette approche, les nœuds sont caractérisés par leurs positions au lieu d'une adresse dans le réseau.

L'avantage de cette approche constitue de :

1. Aucune route ne doit être maintenue.
2. Les décisions du routage sont prises instantanément à l'aide d'une base de données de localisation de source et destination (tous les nœuds connaissent les positions initiales de tous les nœuds)

Ainsi, plusieurs protocoles de routage ont été proposés dans la littérature tels que GPSR [Karp 2000] et GPCR [Lochert 2005].

### 2.3.8 Applications de réseaux VANETs

Les applications des réseaux VANETs pour les systèmes de transport intelligents sont classées en trois catégories comme suit :

**A) Applications pour la sécurité routière** Lorsque le nombre d'accidents sur ses routes associé à un parc de véhicules est de plus en plus important et croissant, la sécurité routière est devenue une priorité motivée dans la plupart des pays développés. Afin d'améliorer cette sécurité des déplacements et réduire les accidents routiers, les communications entre véhicules offrent la possibilité de prévenir les collisions et les travaux sur les routes, de détecter les obstacles et les piétons (fixes ou mobiles) et de distribuer les informations météorologiques. La figure 2.16 montre deux scénarios du risque de collision dans VANETs.

**B) Applications pour les systèmes d'aide à la conduite et les véhicules coopératifs** Afin de faciliter la conduite autonome et d'apporter un support au conducteur dans des situations particulières : aide aux dépassements de véhicules, prévention des sorties de voies en ligne ou en virage, etc. En effet, les compagnies de transports utilisent les IVCs dans un but de productivité pour réduire la consommation de carburant.

**C) Applications de confort du conducteur et des passagers** Les services de communication et d'informations des utilisateurs comme l'accès mobile à l'Internet, la messagerie, le chat entre véhicules, les jeux en réseaux, etc. Nous allons citer quelques exemples d'applications des systèmes de communications entre les véhicules :

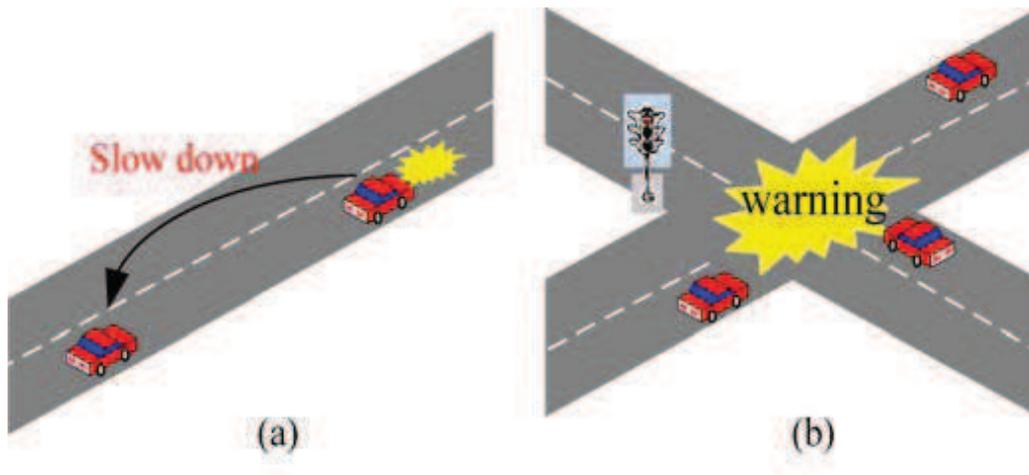


FIGURE 2.16 – Risque de collision scénario dans VANET [Huang 2009]

1. Messages d'alerte en cas d'accident
2. Alerter en cas de bouchons, travaux,....
3. Hot spot sur les autoroutes
4. *Platooning*
5. La conduite collaborative
6. Communications de groupe
7. Gestion des espaces libres dans le parking

### 2.3.9 Les simulateurs de réseaux Ad-hoc sans fil

La simulation est une technique de modélisation du monde réel. Elle permet de représenter le fonctionnement d'un système que l'on veut observer [Kaiser 2010]. La modélisation de ce système consiste à classifier plusieurs variables intéressantes. L'état d'un système sera défini comme l'ensemble des valeurs que prennent ces variables à un instant donné. Il existe une multitude de simulateurs de réseaux, certains plus spécialisés, d'autres généralistes. Nous allons expliquer quelques-uns dans la section suivante. Afin de répondre aux besoins des utilisateurs, un certain nombre de simulateurs ont été développés afin de simuler les réseaux informatiques.

Les simulateurs les plus utilisés dans le domaine des réseaux ad-hoc sont OPNET, GloMoSim, NCTUns et ns-2. Ce dernier simulateur est utilisé dans le cadre de la thèse et détaillé dans le chapitre suivant.

### 2.3.9.1 OPNET [Desbrandes 1993]

C'est un simulateur à caractère commercial. Il contient des nombreux modèles. Il fournit des outils optimisés pour créer et tester des modèles de réseaux. Il utilise la modélisation hiérarchique dans chaque couche pour aider les utilisateurs à effectuer des simulations à évènements discrets de grande exactitude et à récupérer les métriques voulues. OPNET est facile à utiliser et est relativement extensible.

### 2.3.9.2 GloMoSim [Zeng 1998]

GloMoSim est un simulateur performant basé sur un ensemble de modules et de bibliothèques. Chacune simule un aspect particulier des réseaux filaires ou sans fil sur une couche particulière du modèle OSI. GloMoSim est développé en langage PARSEC (Parallel Simulation Environment for Complex Systems), qui permet la simulation parallèle des processus via les messages et les entités indépendantes. GloMoSim est extensible vers d'autres modèles via le langage PARSEC. QualNet [Simulator 2000] est un produit commercial dérivé de GloMoSim.

### 2.3.9.3 NCTUns [Wang 2007]

NCTUns est une Plate-forme de simulation intégrée pour la recherche dans les domaines de trafic de véhicules, la communication et les réseaux. Cette Plate-forme a des capacités de simulation, NCTUns peut être utilisé pour concevoir des protocoles pour les réseaux dédiés aux systèmes de transport intelligents (STI). Afin de soutenir les études sur les systèmes de transports intelligents, de nouvelles évolutions sont proposées par [Wang 2008] pour ce simulateur.

## 2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le système ADAS et le système de communication entre véhicules. Nous avons mis en évidence le lien entre les systèmes ADAS et ce système

---

de communication afin de répondre aux applications souhaitées dans le système de transport intelligent. Nous avons également étudié l'évolution technologique des systèmes d'alerte embarqués entre les véhicules. Les paramètres nécessaires à prendre en compte pour calculer la distance de sécurité entre véhicules sont aussi étudiés pour obtenir de meilleures performances de réaction. Au travers des références bibliographiques, les protocoles de routage développés pour les réseaux MANETs et les réseaux VANETs ont été présentés. Une liste des simulateurs les plus utilisés de réseaux sans fil a été abordée. La synthèse de ces travaux nous a permis de mieux comprendre les réseaux véhiculaires et les systèmes ADAS coopératifs.

# Chapitre 3

# Chapitre 3

## Coopération entre deux systèmes logiciels

### 3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous proposons un système d'alerte coopératif entre véhicules. Nous décrivons étape par étape la structure de conception de ce système. Pour la réalisation, il faut faire coopérer des modules d'acquisition de données, comme le module de vision, de GPS et de communication. La structure de cette problématique est décrite par le schéma de la figure 3.1 qui reprend le modèle OSI pour faire une modélisation avec trois couches.

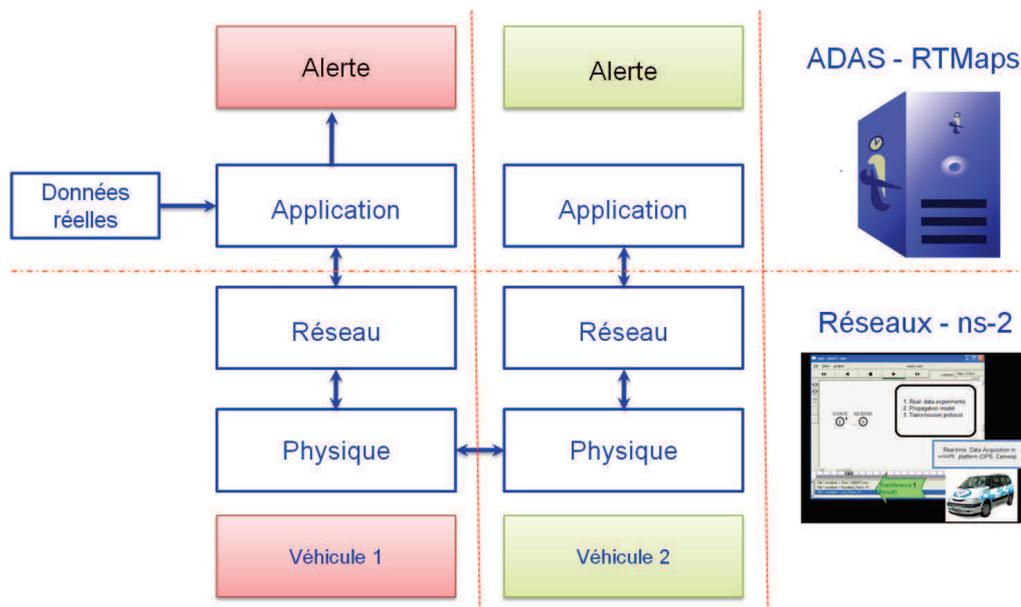


FIGURE 3.1 – La modélisation de notre approche avec trois couches

Dans la première partie, après la description de notre approche, nous décrivons les caracté-

ristiques de notre système ADAS, composé d'un outil logiciel de prototypage avancé en temps réel RTMaps et d'un système de communication entre véhicules. Dans la deuxième partie nous présentons le simulateur de réseaux ns-2 avec la description des modèles de propagation et de mobilité. La troisième partie est consacrée à la représentation de notre approche coopérative entre les deux logiciels ns-2 et RTMaps. Enfin, nous présentons notre réalisation de module de communications V2V.

## 3.2 Présentation de notre approche coopérative

Dans notre système, nous avons combiné dans un nouvel ensemble de prototypage, les données provenant de trois modules (module de communication, module de vision, module GPS). Cette nouvelle combinaison représente l'originalité de notre travail. Elle permet d'analyser le comportement d'un ADAS coopératif, en fonction de différents types de scénarios de communications. Le système ADAS choisi est un système d'alerte permettant d'éviter les collisions entre les véhicules. La figure 3.2 présente l'architecture de communication de cet ensemble de prototypage.

Cette approche a conduit à faire collaborer deux simulateurs :

- (RTMapas) qui réalise l'acquisition de données en temps réel.
- Le simulateur de réseau (ns-2) qui simule la transmission des paquets dans un réseau sans fil en utilisant un protocole de routage.

### 3.2.1 Présentation de RTMaps

Le logiciel RTMaps, commercialisé par la société Intempora [Int 2000], est un outil spécialisé dans les applications de fusion de données temps réel pour plusieurs capteurs embarqués. Son principe utilise le concept de bases de données datées et synchronisées (BdDDS). Les principales fonctions de RTMaps sont les suivantes :

- Connecter, enregistrer et comparer tous types de capteurs et d'actionneurs.
- Fusionner les différentes données en temps réel et prototyper efficacement.
- Conserver et partager les informations ou les données.

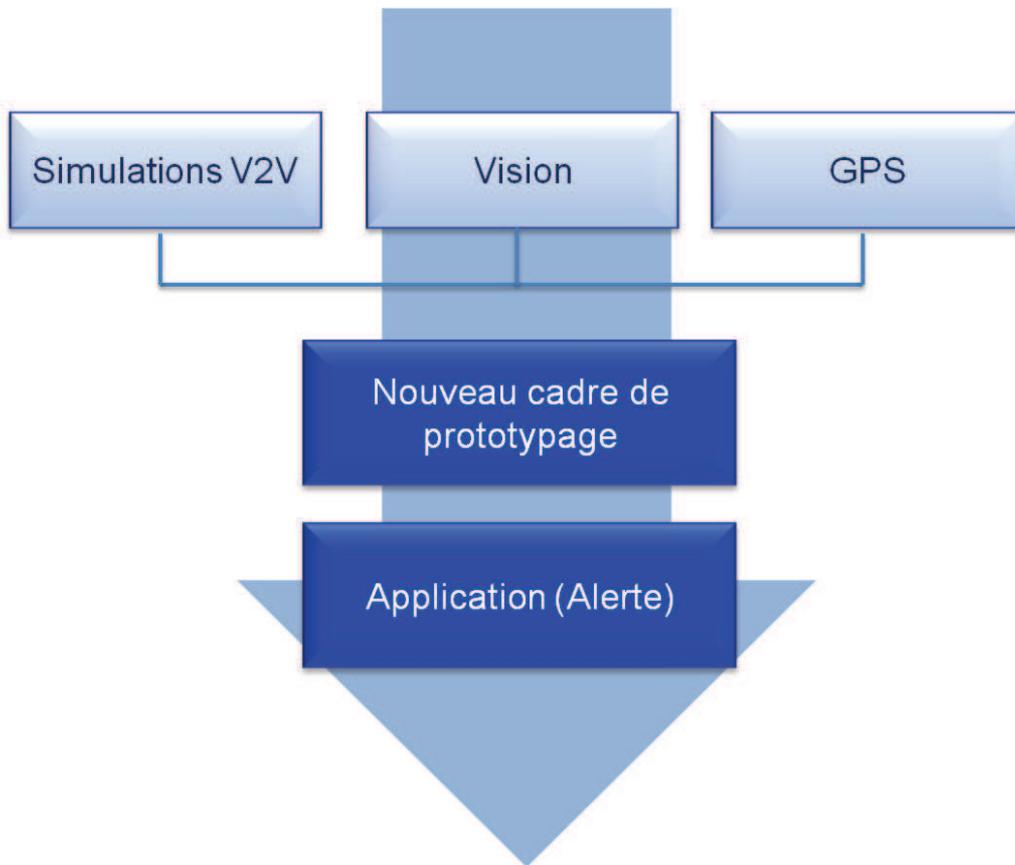


FIGURE 3.2 – Architecture de communication dans le nouvel ensemble de prototypage

Avec cet outil, nous pouvons réaliser l'acquisition et le traitement de toutes les données à haut débit en temps réel. Les données de chaque capteur sont datées immédiatement lors de leur acquisition et stockées ensuite dans des Bases de Données Datées Synchronisées BDDS [Steux 2001]. Dans notre configuration, nous faisons l'acquisition de données issues d'un système de localisation de type GPS et de données vision qui permettent de déterminer les distances entre les véhicules. La figure 3.3 représente un diagramme de type RTMaps utilisé.

### 3.2.2 Le système de communication

Pour les applications visées, de type communication V2V, nous avons choisi d'utiliser un système de communication basé sur le mode « ad-hoc ». Dans ce mode de communication, les clients sont connectés les uns aux autres sans aucun point d'accès. En mode ad-hoc, les machines sans fil clientes se connectent les unes aux autres afin de constituer un réseau point à point communément nommé « *Peer to Peer* ». En d'autres termes, chaque machine dans ce

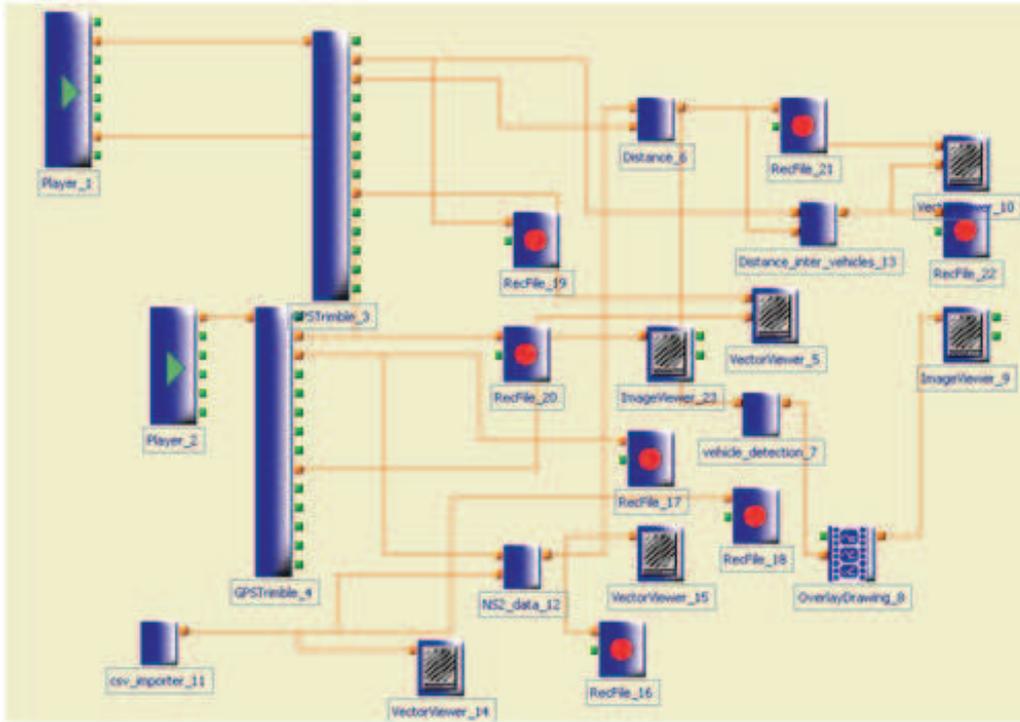


FIGURE 3.3 – Diagramme de RTMaps utilisé dans notre étude

réseau joue le rôle du client et du serveur en même temps. Les principales caractéristiques de ce système sont les suivantes :

### 3.2.2.1 La qualité de service

La qualité de service (*Quality of Service* : QoS) d'un système de communication est caractérisée par la fiabilité de la communication, la portée, le débit, la vitesse relative entre les véhicules et la latence des communications [Ammoun 2007a]. Plusieurs facteurs peuvent dégrader la qualité de la communication sans fil comme la distance entre les véhicules, la visibilité directe, l'environnement de propagation, les multi-trajets, le niveau de bruit et la fréquence utilisée.

### 3.2.2.2 Contrainte sur la distance entre les véhicules

La distance de communication représente la portée maximale que nous pouvons avoir entre deux véhicules communicants. Cette portée ne dépend pas seulement des performances des matériaux de communication mais aussi de l'environnement responsable des phénomènes de propagations tels que : l'absorption, la diffraction, l'atténuation et la réflexion du signal trans-

mis. Pour les systèmes WiFi de type 802.11g, la valeur maximale de la distance entre deux véhicules est de 300 mètres. La distance inter-véhicules est calculée à partir des données GPS acquises par chaque véhicule et transmises par les communications V2V. La distance entre les véhicules peut être approchée par les équations suivantes :

$$A = (lat_{V_1} - lat_{V_2}).R \quad (3.1)$$

$$B = (lon_{V_1} - lon_{V_2}).R \quad (3.2)$$

$$Z_p = \sqrt{A^2 + B^2} \quad (3.3)$$

Où  $R$  est le diamètre de la terre,  $Z_p$  est la distance entre les deux véhicules,  $Lat_{v_i}$  est la latitude du véhicule  $V_i$ ,  $Lon_{v_i}$  est la longitude du véhicule  $V_i$ .

### 3.2.2.3 La latence de la communication

Le temps de latence est la durée du retard dans un système de communication. Il est défini comme le délai temporel entre le moment où l'émetteur envoie le paquet et le moment où le récepteur intègre le message envoyé. Dans les applications en temps réel, la latence doit être faible pour que les informations transmises puissent être traitées correctement.

### 3.2.2.4 Durée de connexion

Ce paramètre représente la durée de vie d'une communication entre deux véhicules. Si nous avons les vecteurs  $[X_1, X_2]$  et  $[V_1, V_2]$  qui représentent, respectivement, la position et la vitesse de deux véhicules (véhicule1 et véhicule2) à un instant  $t_i$ , on peut estimer que la connexion est active pour toute valeur de  $(t)$  qui vérifie l'inégalité associée à la portée radio notée  $r$ .

$$\| (X_1 + V_1.(t - t_1)) - (X_2 + V_2.(t - t_1)) \| \leq r \quad (3.4)$$

avec  $X = X_1 - X_2$  et  $V = V_1 - V_2$

Nous obtenons :

$$\| X + V.(t - t_i) \| \leq r \quad (3.5)$$

Si nous calculons les valeurs extrêmes de  $(t)$  vérifiant cette inégalité, nous obtenons deux solutions  $(t_e)$  et  $(t_s)$  se référant aux instants où les deux véhicules entrent et sortent de leurs portées radio respectivement. La durée de la connexion estimée en considérant que les vitesses sont constantes est alors  $t_c = t_e - t_s$ .

$$t_c = 2 \frac{\sqrt{2.x_1x_2v_1v_2 + v_1^2(r^2 - x_2^2) + v_2^2(r^2 - x_1^2)}}{v_1^2 + v_2^2} \quad (3.6)$$

Si la durée de connexion est trop courte, les échanges de données ne pourront pas être effectués. Cette contrainte définit une vitesse relative maximale  $V$ .

### 3.2.3 Présentation de l'outil de simulation ns-2

"Ns-2" est un simulateur de réseaux informatiques à événements discrets. Il a été développé lors d'un projet VINT de DARPA [Greis 2007]. Il est le simulateur le plus célèbre utilisé dans le domaine de la simulation de réseaux. Le projet ns-2 a débuté en 1989 comme une variante du simulateur de réseau nommé REAL et il a connu des nombreuses extensions via les contributions de la communauté scientifique. Initialement, ce simulateur a été conçu pour les réseaux filaires, puis il a été le premier simulateur supportant les réseaux ad-hoc. La simulation sous ns-2 peut prendre en compte les modèles de propagation, de mobilité et les protocoles de routage.

Il utilise deux langages de programmation : OTCL et C++. OTCL (Oriented Tool Command Language) est un langage de commande, il sert à contrôler les applications en offrant des structures de programmation telles que les boucles, les procédures ou les notions de variables. Le langage C++ est utilisé pour implémenter la plupart des protocoles réseaux et pour les interfacier via OTCL. Pour modifier le comportement d'objets existants, il est donc nécessaire de modifier le code C++. A cet ensemble, vient s'ajouter "NAM" qui est un outil permettant de visualiser et d'analyser les éléments simulés. Ns-2 est un logiciel du domaine public, sous licence GNU (General Public Licence). Il est disponible sur l'Internet et son utilisation est gratuite.

Il est à noter que ns-2 a été développé sous l'environnement Linux. La figure 3.4 représente le diagramme des processus de simulation sous ns-2.

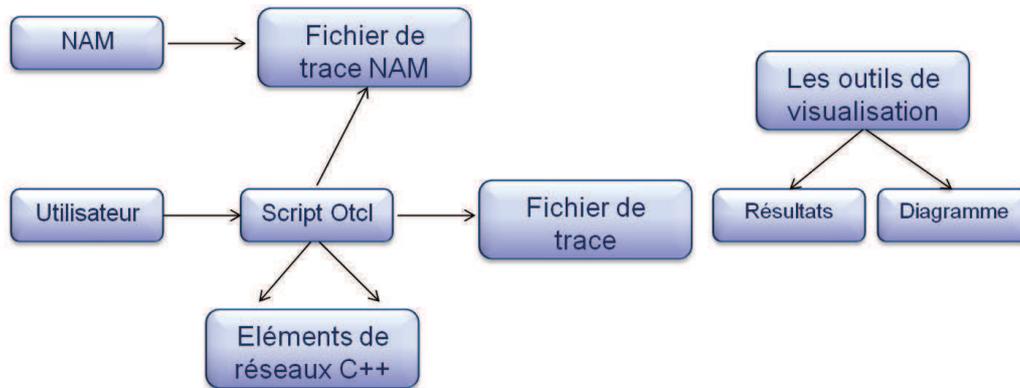


FIGURE 3.4 – Diagramme des processus de simulation sous ns-2

### 3.2.3.1 L'intérêt de l'utilisation de ns-2

En général, une simulation d'événements discrets a pour but de visualiser l'état d'un système à n'importe quel instant. Le choix de ce simulateur pour notre étude s'est basé sur les critères suivants :

- Bibliothèque de modèles : Typiquement il existe plusieurs protocoles implémentés dans le simulateur. Si nous souhaitons utiliser un protocole déjà inclus dans la bibliothèque, il n'est alors pas nécessaire de le développer.
- Fiabilité du simulateur et des protocoles simulés : Les modules (protocoles) sont proches de la réalité, ils sont fiables, ils permettent donc de réaliser des simulations fidèles.
- Performances brutes : Elles se mesurent en temps d'exécution et en utilisation de la mémoire. Si nous souhaitons simuler un réseau qui contient un grand nombre de nœuds, le temps d'exécution et l'utilisation de la mémoire doivent être adaptés à la machine et doivent rester raisonnables.
- Facilité d'extension : Il est facile d'ajouter de nouveaux modèles au simulateur, ce qui est primordial pour faire évoluer les performances.
- Mesure de performances : Ce simulateur peut inclure la génération automatique de statistiques en fonction de différentes métriques.

Après avoir comparé les différents simulateurs, nous avons choisi ns-2 qui est le plus adapté à nos besoins. Dans notre projet, ce logiciel nous permet de décrire et de simuler des scénarios, en utilisant des scripts TCL, puis d'interpréter les résultats de simulation avec l'analyse des fichiers traces.

### 3.2.3.2 Les classes du ns-2

Les classes de programmation pour ce logiciel sont les suivantes :

1. Application (générateur de trafic)
2. Agent (protocoles)
3. Node (nœud du réseau)
4. Link (lien entre les nœuds)
5. Monitor (Elaboration de statistique sur un lien particulier)

La figure 3.5 montre la structure d'un nœud mobile dans ns-2.

### 3.2.3.3 Composants de ns-2

Le tableau 3.1 récapitule la liste des principaux composants disponibles dans ns-2 pour les différentes fonctions qu'il permet de simuler.

TABLE 3.1 – Liste des principaux composants disponibles sous ns-2

Application	Web, FTP, Telnet, générateur de trafic (CBR, ..)
Transport	TCP, UDP, RTP, SRM
Routage	Statique, dynamique (vecteur distance) et routage multipoint (DVMRP, PIM)
Gestion des files d'attente	RED, Drop Tail, Token bucket
Discipline de service	CBQ, SFQ, DRR, Fair Queuing
Système de transmission	CSMA/CD, CSMA/CA, lien point à point

### 3.2.3.4 Les modèles de propagation

Le système de communication entre véhicules rencontre différents environnements de propagation qui varient avec la densité du trafic et la géographie. Ces différents environnements

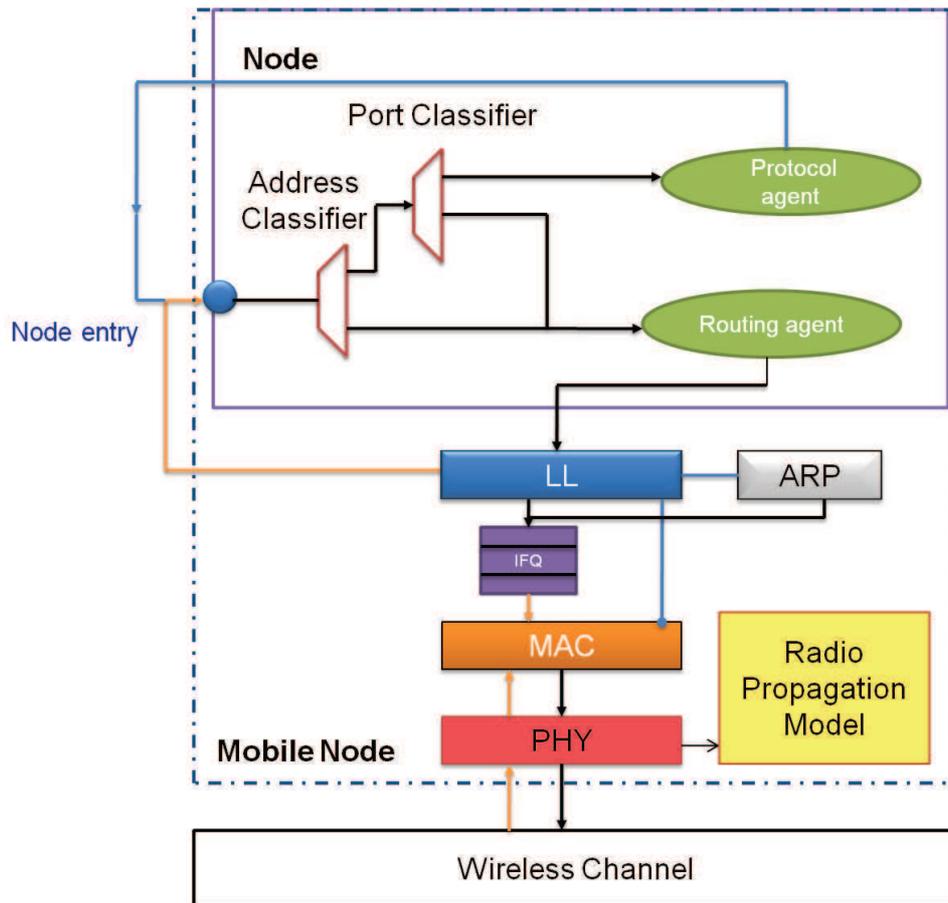


FIGURE 3.5 – Structure d'un nœud mobile dans ns-2

de communications peuvent être classés comme suit :

- Environnement urbain
- Environnement inter-urbain
- Environnement autoroutier

Les modèles de propagation de l'onde radio sont définis dans la couche physique du modèle OSI. Ils permettent de prédire la puissance du signal reçu pour chaque paquet. Un seuil de réception est défini au niveau des nœuds du réseau. Lorsqu'un paquet est reçu et que la puissance du signal est inférieure au seuil, il sera marqué et traité comme abandonné (*dropped*) par la couche MAC. L'atténuation (*Fading*) conduit à un phénomène de fluctuations rapides du signal pendant une période de temps donnée. Jusqu'à présent, il existe trois modèles de propagation sous ns-2 qui tiennent compte de l'atténuation du signal en fonction de la distance. Ces trois modèles sont le modèle de l'espace libre, le modèle de réflexion et le modèle de l'ombrage. Nous allons présenter ces modèles en commençant par le plus simple, modèle de l'espace libre, pour

finir par le plus réaliste, modèle de l'ombrage.

**Modèle de l'espace libre (Free-Space) :** Ce modèle est utilisé pour prédire l'intensité du signal lorsque l'émetteur et le récepteur ont un chemin clair, dégagé et direct (*LOS*) entre eux. H.T.Friis [Friis 1946] a présenté la formule suivante permettant de calculer la puissance du signal reçu dans un espace libre à une distance "d" de l'émetteur.

$$P_r(d) = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot \lambda^2}{(4\pi)^2 \cdot d^2 \cdot L} \quad (3.7)$$

Où :

- $P_t, P_r$  sont les puissances de signal émis et reçu respectivement (watt).
- $G_t, G_r$  sans unité, représentent les gains des antennes d'émission et de réception.
- $L$  : la perte du système (i.e.  $L=1$  dans les simulations sous ns-2).
- $\lambda$  : la longueur d'onde du signal radio.

Ce modèle représente essentiellement la portée de communication comme un cercle autour de l'émetteur. Si le récepteur est à l'intérieur de ce cercle, il reçoit tous les paquets, sinon, il perd tous les paquets.

**Le modèle de réflexion sur le sol (*Two-Ray ground reflection*) :** Ce modèle, plus réaliste que le modèle précédent, traite le cas où l'on considère un sol réfléchissant le signal entre l'émetteur et le récepteur, en plus de la voie directe *LOS*. Cette situation est illustrée par la figure 3.6. Ce modèle est particulièrement utile et précis pour prédire la puissance reçue pour les longues distances et lorsque l'émetteur est installé à une position relativement élevée au-dessus du sol. Il est intéressant de noter que la puissance reçue est indépendante de la fréquence pour les grandes distances. Avec ce modèle, la puissance calculée diminue plus rapidement en fonction de la distance, par rapport au modèle *Free-Space*. La puissance reçue à une distance "d" est prédite par l'équation suivante :

$$P_r(d) = \frac{P_t \cdot G_t \cdot G_r \cdot h_t^2 \cdot h_r^2}{d^4 \cdot L} \quad (3.8)$$

Où  $h_t$ ,  $h_r$  sont les hauteurs des antennes d'émission et de réception.

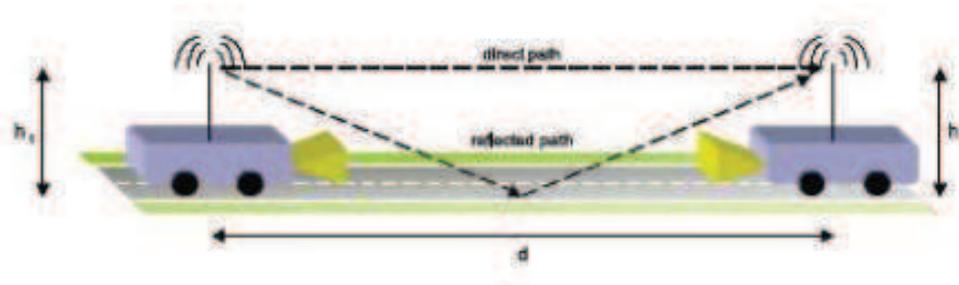


FIGURE 3.6 – Modèle de réflexion sur le sol [Jerbi 2008a]

**Le modèle de log-normal Shadowing :** Avec les modèles de l'espace libre et de réflexion sur le sol, le calcul de la puissance reçue estimée est une fonction déterministe de la distance. Ces deux modèles représentent la portée de la communication comme un cercle idéal. En réalité, la puissance reçue pour une valeur donnée de la distance est une variable aléatoire évoluant autour d'une valeur moyenne. Ceci est dû aux effets des multitrajets qui provoquent des affaiblissements. Le modèle le plus général et largement utilisé est noté « *Shadowing model* » [Rappaport 1996]. L'approche empirique pour calculer la puissance reçue est basée sur des courbes expérimentales ou sur des expressions analytiques qui permettent de recréer un ensemble de données mesurées pour des situations définies. Cette approche a l'avantage de prendre en compte tous les phénomènes connus et inconnus dans la modélisation du canal de propagation. Dans le modèle Log-normale Shadowing, la puissance décroît logarithmiquement avec la distance. En tenant compte du fait que dans les environnements de propagation les encombrements sont différents, ce modèle intègre un paramètre aléatoire appelé Shadowing dans le calcul de la puissance. Ce paramètre est défini comme gaussien à moyenne nulle avec un écart-type de shadowing  $\sigma_{dB}(dB)$ . Ce paramètre permet de prendre en compte le fait que les puissances mesurées sont sensiblement différentes des valeurs moyennes calculées. Le calcul de la puissance est effectué en deux étapes :

dans la première étape, nous calculons la puissance moyenne  $\overline{P_r(d)}$  pour un trajet de longueur  $d$  dans un environnement perturbé. Pour cela, on utilise une puissance de référence  $P_r(d_0)$  caractéristique de cet environnement, calculée à partir d'une distance de référence fixe  $d_0$ . Cette puissance de référence est obtenue avec l'équation 3.7. Puis  $\overline{P_r(d)}$  est calculée par rapport à la

puissance de référence avec l'équation suivante :

$$\frac{P_r(d_0)}{P_r(d)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta \quad (3.9)$$

L'atténuation de la puissance est représentée avec l'exposant  $\beta$ . Il est déterminé par des mesures sur le terrain. Le tableau 3.2 donne quelques valeurs typiques de  $\beta$ .

Environnement		$\beta$
Extérieur (outdoor)	Espace libre	2
	Les zones urbaines	2.7 à 5
Dans les bâtiments	Ligne directe de communication	1.6 à 1.8
	Obstruction	4 à 6

TABLE 3.2 – Quelques valeurs typiques de l'exposant perte de trajet  $\beta$

Les valeurs élevées de  $\beta$  correspondent à un trajet avec un nombre d'obstacles important. Donc l'atténuation de la valeur moyenne de la puissance reçue est plus rapide quand la distance augmente. Cette atténuation est généralement mesurée en  $dB$ , donc, à partir de l'équation 3.9, nous avons :

$$\left[ \frac{P_r(d)}{P_r(d_0)} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (3.10)$$

La deuxième étape fait intervenir un paramètre aléatoire dans le calcul de la puissance. Ce paramètre est une variable aléatoire, gaussienne, de moyenne nulle, d'écart type  $\sigma_{dB}(dB)$  détaillé dans le tableau 3.3 et exprimé en  $dB$ .  $\sigma_{dB}$  est aussi noté variation de l'ombrage. Il est obtenu de façon empirique.

Environnement	$\sigma_{dB}(dB)$
Extérieur	4 à 12
Bureau, hard partition	7
Bureau, soft partition	9.6
Usine, ligne directe	3 à 6
Usine, obstruction	6.8

TABLE 3.3 – Quelques valeurs typiques de l'écart d'ombrage  $\sigma_{dB}(dB)$

Par conséquence, le modèle global de shadowing est représenté par l'équation 3.11 :

$$\left[ \frac{\overline{P_r(d)}}{\overline{P_r(d_0)}} \right]_{dB} = -10\beta \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + X_{dB} \quad (3.11)$$

Où  $X_{dB}$  est une variable gaussienne aléatoire de moyenne nulle et d'écart-type  $\sigma_{dB}(dB)$ . Ce modèle améliore le modèle de l'espace-libre (*Free-Space*) pour obtenir un modèle statistique plus riche où les communications possibles ont une évolution probabiliste.

### 3.2.3.5 Modèles de mobilité sous ns-2

Le but est de représenter au mieux les caractéristiques des déplacements des véhicules pour se rapprocher au mieux du monde réel. La cinématique ou mobilité des nœuds mobiles est l'un des paramètres importants dans la simulation des réseaux VANETs. Le modèle de mobilité reflète le comportement spatio-temporel de ces nœuds.

Plusieurs modèles ont été proposées sous ns-2. Ces modèles permettent de générer des fichiers appelés traces décrivant la position des véhicules en fonction du temps. *Random Way Point (RWP)*, *Group Mobility*, *Freeway*, *Random Direction Model*, *Markovian Model* et *Manhattan model* sont les modèles de mobilité les plus connus dans la littérature [Camp 2002]. Ces modèles ne prennent pas en compte les interactions qui existent entre les véhicules et qui sont fondamentales pour la communication V2V [Helbing 2001]. Des études plus détaillées des modèles de mobilité peuvent être trouvées dans [Bai 2003], [Härri 2005]. Le simulateur ns-2 définit plusieurs modèles de mobilité ; nous mentionnons deux exemples :

Le modèle *RWP* génère un mouvement aléatoire des nœuds. Pour chaque nœud, la destination est définie de façon aléatoire et le déplacement est réalisé avec une vitesse constante [Johnson 2001]. Il est apprécié pour sa simplicité. Cependant, il ne peut ni fixer de caractéristiques de mobilité spatiale pour les nœuds, ni définir de restrictions géographiques dans le réseau mobile. En conséquence, il ne produit pas de modèles de mouvement réalistes. De plus, ce modèle de mobilité ne conduit pas à des résultats précis lorsqu'il s'agit d'évaluer les performances des protocoles et des applications pour un réseau WiFi Ad-Hoc [Singh 2002].

Dans le modèle de *Trajectory Based Mobility*, le mouvement est généré par un scénario défini par l'utilisateur. La mobilité est alors définie par une destination précise et une vitesse

de déplacement constante.

Ces deux modèles mentionnés sont utilisés pour des environnements de type MANET. Ils ne peuvent pas être utilisés pour les environnements de type VANET. Leur utilisation ne produit pas de résultats précis puisqu'ils ne donnent pas de traces qui expriment correctement les mouvements des véhicules [JOBIN 2010]. En effet, les déplacements et les vitesses de véhicules sont délimités et prédéfinis par les routes et le comportement des conducteurs.

Pour obtenir des résultats de simulation plus précis, la communauté des chercheurs a travaillé sur des modèles de mouvements plus réalistes. Ces modèles sont issus de combinaisons de données de plusieurs capteurs avec un niveau de détails suffisant [Saha 2004] [Karnadi 2007]. En effet, des chercheurs ont montré que les résultats des analyses des performances des protocoles MANET et VANET dépendent du choix du modèle de mobilité [Naumov 2006].

Le modèle simple de *Freeway* et le modèle de Manhattan (ou grille) étaient les premiers modèles issus de projets complexes. Ces modèles basés sur des cartographies routières ont été développés afin de générer de véritables mouvements de véhicules permettant de simuler les déplacements dans les villes.

### 3.2.3.6 Les sources du modèle de mobilité pour VANET

Les traces de mobilité des nœuds peuvent être obtenues de différentes manières. Ces traces peuvent être obtenues soit avec un modèle mathématique, soit issues d'enregistrements de traces réelles effectués avec un système GPS ou soit à partir d'un simulateur de trafic routier, macroscopique ou microscopique. Le simulateur macroscopique modélise et simule le déplacement de chaque véhicule sur la route par rapport aux autres, estimant ainsi de façon régulière sa position, sa vitesse et son accélération. Le simulateur microscopique modélise le déplacement de chaque atome dans un gaz, tandis qu'un simulateur macroscopique modélise le gaz en se basant sur certaines propriétés tels que le volume, la pression, la température (base de la thermodynamique) [Kaisser 2010]. Plusieurs études ont également montré qu'il est nécessaire d'utiliser un modèle de mobilité réaliste avec un niveau de détails suffisant pour obtenir des résultats de simulation précis du réseau VANET.

De nouveaux outils Open Source sont disponibles pour générer des traces de mobilité de

véhicules. Nous avons ainsi, MOVE (*MObility model generator for VEhicular networks*) qui est un logiciel programmé en java et qui se base sur SUMO (*Simulation for Urban MObility*) pour générer des simulations du trafic routier [Karnadi 2007]. C'est un outil assez complet, utilisant l'extrapolation de vraies cartes issues de la base de données TIGER. De plus il permet de créer une topologie de réseau de façon pseudo-aléatoire et manuelle. Toutefois, avec cet outil, aucune micro-mobilité n'est considérée.

Il est donc important d'utiliser des modèles plus réalistes pour reconstruire les mouvements des véhicules. Cela est possible avec les modèles dédiés aux simulations VANET comme STRAW [Choffnes 2005], TraNS [Piorkowski 2008] et VanetMobiSim [Härri 2006].

L'outil CanuMobiSim [Stepanov 2010] est un outil dédié à la génération de traces des véhicules dans des conditions variées. Il est basé sur l'extrapolation des topologies réelles à partir de données géographiques (GDF). Les modèles de mobilité, utilisé pour générer les traces, peuvent être considérés dans les simulateurs ns-2, GloMoSim ou QualNet [Simulator 2000]. Contrairement à d'autres outils, l'outil CanuMobiSim utilise des propriétés de micro-mobilité. La mise en œuvre de plusieurs modèles d'interaction entre les voitures peut être modélisée avec le modèle de *Fluid Traffic* [Seskar 2002] ou le modèle de l'Intelligent Driver (*IDM*) [Treiber 2000]. Enfin, nous pouvons signaler une extension de CanuMobiSim, VanetMobiSim qui propose des modèles de mouvements de véhicules automobiles, aussi réalistes au niveau macroscopique qu'au niveau microscopique.

L'outil STRAW [Jarupan 2008] est un simulateur de trafic permettant de créer des traces de mobilité et dédié au simulateur de réseau SWANS (Scalable Wireless Ad Hoc Network Simulator). Ce simulateur permet d'extraire la topologie de la route à partir des cartes de la base de données TIGER. STRAW contient aussi des implémentations pour plusieurs protocoles de routage, de transport et d'accès aux médias. Ce modèle fournit des résultats de simulation plus précis comparés à ceux obtenus à partir du modèle *RWP* car il utilise un modèle de mobilité fondé sur la circulation réelle dans des villes américaines.

L'outil IMPORTANT [Bai 2003] et l'outil Bonn Motion [Waal 2003] [Aschenbruck 2010] mettent en œuvre plusieurs modèles de mouvements aléatoires. Ils génèrent aussi des modèles simples qui expriment les mouvements des véhicules. Ces outils sont insuffisants pour simuler des mobilités réalistes de véhicules.

L'outil Groove Sim [Mangharam 2005] est un simulateur de la mobilité et de communication,

qui utilise aussi les fichiers de la base de données TIGER pour générer des topologies réalistes. Groove Sim ne génère ni des modèles de véhicules de type micro-mobilité, ni des traces utilisables par des simulateurs de réseaux. En fait, il a été élaboré pour tester un protocole de routage spécifique.

Les modèles de mobilité et les simulateurs mentionnés précédemment donnent des traces proches de la réalité, exploitables par les simulateurs, mais qui n'ont pas toutes les caractéristiques des traces réelles, surtout au niveau de la micro-mobilité. Cela nous a conduit à choisir RTMaps comme source des données réelles pour extraire les traces de mobilité des véhicules. Pour déterminer la localisation d'un événement dans les réseaux de véhicules nous utilisons les données du système GPS, supposant que chaque véhicule a un récepteur GPS qui donne la position actuelle avec une précision de moins de 5 mètres. Si des véhicules ne sont pas équipés du GPS, il est nécessaire de déterminer la localisation de ces véhicules par d'autres moyens. Ainsi, les véhicules se déplaçant sur une route prédéfinie ont tendance à garder leur sens de circulation. Cette information peut être utilisée dans la gestion de la mobilité pour les réseaux véhiculaires.

### 3.2.4 Approche coopérative entre deux systèmes logiciels

L'utilisation des communications sans fil dans les applications pour les systèmes de transport intelligents nécessite un simulateur de réseau très proche de la réalité. De plus, dans le domaine des communications entre véhicules, il est indispensable de combiner un simulateur de réseau avec un simulateur de trafic afin de tester l'efficacité de ce réseau. Cela nous a conduit à combiner un simulateur de réseaux ns-2 avec un logiciel qui fournit des données réelles de trafic « RTMaps ». Cette partie présente la coopération entre ces deux logiciels afin de tester la faisabilité des applications. Cela nous permettra de choisir les paramètres nécessaires pour des applications d'alerte de type anti-collision. Cette coopération est constituée d'un couplage en temps différé entre RTMaps et ns-2 comme le montre la figure 3.7. Ce couplage est en temps différé, car les processus ont un fonctionnement séquentiels, Ils ont besoin des résultats de l'ensemble de la séquence pour fonctionner. Les deux programmes sont donc exécutés en temps différé.

Nous présentons notre méthode de couplage des deux logiciels, le simulateur de réseau et le

système de prototypage, pour réaliser un système d'alerte coopératif. En utilisant RTMaps, les traces de mobilité des véhicules sont enregistrées en temps réel puis extraites et enfin converties au format TCL. La section suivante détaille l'importation des fichiers TCL représentant le mouvement des véhicules dans le simulateur ns-2. Dans notre étude, le module de mobilité est externe, il est construit à partir de nos sources qui sont des traces réelles. Le couplage entre RTMaps et ns-2 vise à combiner les performances des deux logiciels pour simuler le comportement des véhicules selon un modèle de suivi de véhicule et pour simuler les communications entre les véhicules en utilisant un réseau ad-hoc sans fil et un protocole de routage. Afin de tester l'efficacité du système de communication, nous développons un ADAS qui sera testé sur plusieurs types de scénarios.

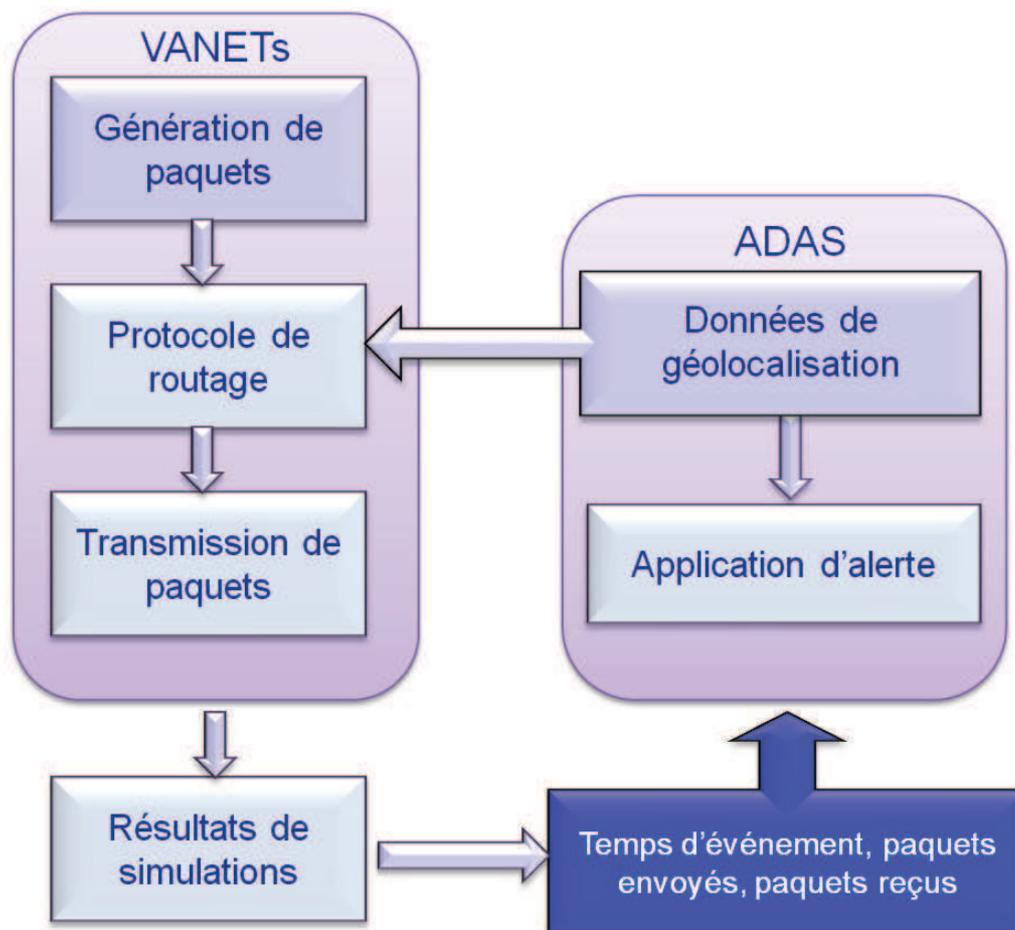


FIGURE 3.7 – Architecture de la coopération entre deux systèmes logiciels (RTMaps-ns-2)

### 3.3 Le module de communication V2V sous ns-2

Pour effectuer la simulation d'un système de communication sans fil, il faut caractériser les différentes couches utilisées et définir les protocoles implémentés pour chaque couche. Ceci est très important afin de reproduire la performance du système réel. Avant de simuler un réseau de véhicules avec des protocoles de routage, nous avons modélisé notre scénario de communication entre véhicules comme le montre la figure 3.8. Chaque véhicule sera modélisé par un nœud caractérisé par sa position  $(X, Y)$  et par le vecteur de vitesse  $(V_x, V_y)$ . Il faut noter que la distance et la vitesse entre les véhicules sont des paramètres de la simulation qu'il faut déterminer.

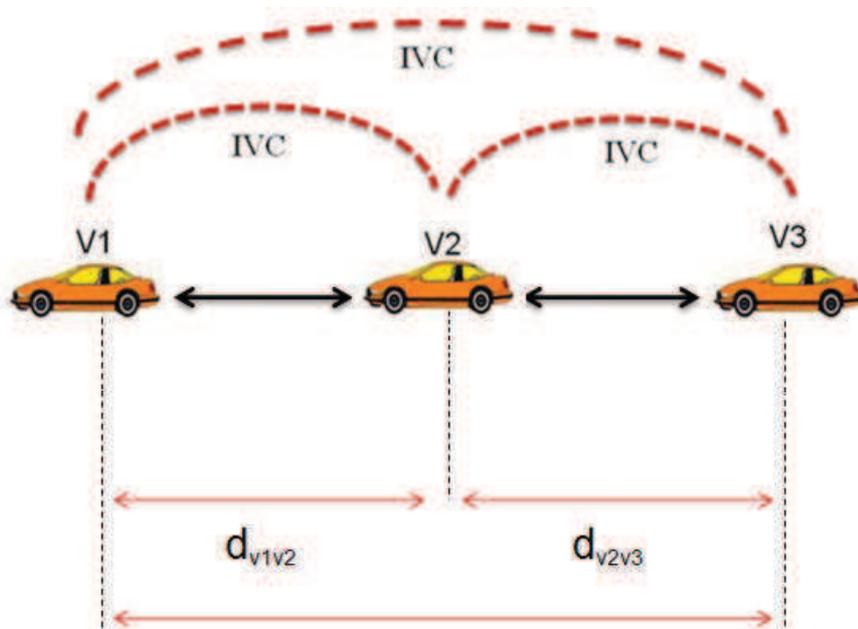


FIGURE 3.8 – Modélisation d'un scénario V2V sous ns-2

#### 3.3.1 Les caractérisations des couches sous ns-2

Pour notre projet de réalisation d'un système ADAS, nous avons simulé un réseau ad-hoc sans fil entre les véhicules afin d'évaluer les performances des différents algorithmes de routage en termes de taux de livraison de paquets, taux de surcharge du réseau et le délai de livraison de bout en bout. Nous avons donc évalué les performances des algorithmes DSDV, DSR, AODV

et GPSR en utilisant le simulateur ns-2. A l'issue de chaque simulation nous comparons les différents protocoles en analysant les fichiers résultats représentant les communications effectuées. Nous présentons dans cette section les différentes étapes à effectuer sous ns-2 illustrées par la figure 3.9

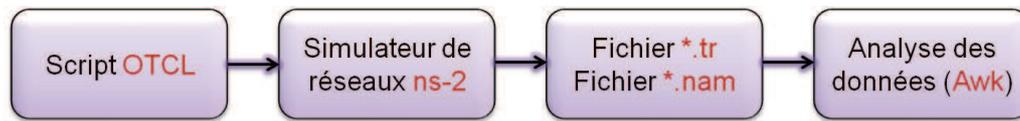


FIGURE 3.9 – Diagramme des étapes d'une simulation sous ns-2

Une application sous ns-2, se déroule en deux phases :

1. Prétraitement : Générateur de trafic et topologie (setdest)
2. Post-traitement :

Analyse des fichiers résultats (traces) pour estimer la qualité de la communication simulée en utilisant un langage de traitement de ligne texte, tels que : AWK, Perl ou Tcl. Nous cherchons ensuite à extraire les informations relatives aux échanges des paquets entre les nœuds.

TABLE 3.4 – Structure d'une ligne du fichier trace

Event	Time	From Node	To Node	Pkt type	Pkt Size	Flags	Fid	Src addr	Dst addr	Seq num	Pkt Id
-------	------	--------------	------------	-------------	-------------	-------	-----	-------------	-------------	------------	-----------

Le format des fichiers résultats (traces) d'une simulation de réseau avec ns-2 pour des réseaux mobiles ad-hoc est représenté dans le tableau 3.4. Le premier champ représente le type d'événement, défini par une lettre. Il y a quatre types d'événement possible, soit réception (r), soit transmission (s), soit retransmission (*forwarded*) (f) et soit suppression (*dropped*) (D). De plus, la première lettre peut être (M) pour indiquer la position ou le mouvement du nœud à cet instant. Le deuxième champ représente l'instant de l'événement. Le troisième champ désigne le numéro du nœud source. Le quatrième champ désigne le numéro du nœud destination. Le cinquième champ noté « Pkt type » indique le niveau ou le type du paquet cela peut être : MAC (adresse), AGT (niveau transport), RTR (niveau routage du paquet), IFQ (pour indiquer l'interférence de priorité dans la file d'attente, cela peut générer la suppression de paquet). Ensuite, le champ représente la taille de paquet. Le champ « Flags » caractérise le numéro de

séquence du paquet. Le champ « Fid » est également utilisé lorsque la couleur de flux est précisée pour l’affichage NAM. Les champs « Src Addr » et « Dst Addr » représentent respectivement les adresses de la source et de la destination du paquet qui transite entre les deux nœuds. Enfin « Seq num » et « Pkt id » identifient le paquet.

### 3.3.2 Les caractéristiques d’une simulation V2V sous ns-2

Les simulations sont contrôlées avec des fichiers contenant des scripts au format TCL. Pour définir une simulation, il faut initialiser différents champs, cela est effectué avec les étapes suivantes :

- Création de l’événement avec sa base de temps.
- Activation de la zone de simulation (traçage)..
- Création des nœuds du réseau en définissant leurs positions initiales, ou des nœuds de routage par leurs positions aussi.
- Définition des liens de communication entre les nœuds.
- Configuration du protocole de routage, soit AODV ou DSR ou GPSR.
- Définition des agents de transport, représentant les protocoles de niveau transport (TCP, UDP); ces agents sont attachés aux nœuds et connectés les uns avec les autres. Cela représente les échanges de données (connexion TCP, flux UDP).
- Création des agents de trafic (FTP, CBR). Ces applications génèrent le trafic de données selon certaines lois utilisant les agents de transport.
- Transmission des données au niveau des applications.
- Calcul de nouvelles positions des nœuds (positions de destination).
- Création de convois de véhicules et des contraintes associées à la topologie.
- Définition de la durée de la simulation.
- Exécution du script TCL.

Le tableau 3.5 présente les paramètres de nos simulations de réseaux VANETs avec le modèle de propagation "*TwoRayGround*".

TABLE 3.5 – Les paramètres du modèle de propagation dans les simulations des VANETs sans fil

Paramètre	Valeur
Surface de simulation	200x800 m
Modèle de propagation	Propagation/ <i>TwoRayGround</i>
Modèle de queue d'interface	Queue/DropTail/PriQueue
Antenna/omniAntenna	X=0
Antenna/omniAntenna	Y=0
Antenna/omniAntenna	Z=1,51
Antenna/omniAntenna	$G_t=1.0$
Antenna/omniAntenna	$G_r=1.0$
Phy/WirelessPhy CPTresh (dB)	10.0
Phy/WirelessPhy CSTresh (Watt)	1.559e-11
Phy/WirelessPhy RXThresh (Watt)	3.652e-9
Phy/Wireless Hy frequency (MHz)	5.90 e+9
Phy/WirelessPhy RXThresh (Watt) $P_t$	0.28183815
Paquet de données	CBR
Taille de Paquet (byte)	64, 512, 1460
Temps de simulation	(197, 337) s
Temps entre deux paquets (intervalle)	(1, 2, 3, 4, 5) s

### 3.3.3 Simulation des protocoles de routage

Ns-2 supporte différents types de protocoles comme par exemple le protocole TCP, les protocoles de routage et multicast pour les réseaux filaires ou sans fil. Nous avons simulé notre réseau avec plusieurs types d'algorithmes de routage. Nous avons commencé par les algorithmes de réseaux dédiés aux réseaux MANETs comme :

- L'algorithme DSDV
- L'algorithme AODV
- L'algorithme DSR

Par la suite, nous avons intégré le code source de l'algorithme GPSR sous la version ns-2.33 installée sous linux. Cet algorithme est mieux adapté aux réseaux VANETs. En plus, nous avons évalué par simulation le fonctionnement du réseau et les performances des algorithmes DSDV, AODV, DSR et GPSR avec des nœuds mobiles. Cette évaluation a été effectuée en utilisant des traces réelles de véhicules (positions, vitesses).

### 3.3.4 Intégration du modèle de propagation

Plusieurs modèles analytiques et empiriques ont été proposés afin de modéliser le canal de communication entre véhicules avec des conditions variées, des critères sur la vitesse des véhicules et des critères sur le trafic. Nous trouvons ainsi des critères sur la distance entre les véhicules en mouvement, sur le mouvement contraint sur les voies. Ces critères affectent les performances du réseau. Ns-2 utilise normalement un modèle de propagation simple qui ne prend pas en compte tous les obstacles de l'environnement et qui ne caractérise pas parfaitement le monde réel où circulent les véhicules [Hafeez 2009]. Les modèles de propagation de base habituellement simulés sous ns-2 tel que (*TwoRayGround*) ne conviennent pas pour les simulations VANETs [Martinez 2009]. La puissance du signal reçu dans ce modèle, explicitée par l'équation 3.8, diminue de façon importante lorsque la distance entre les véhicules augmente, comme le montre la figure 3.10.

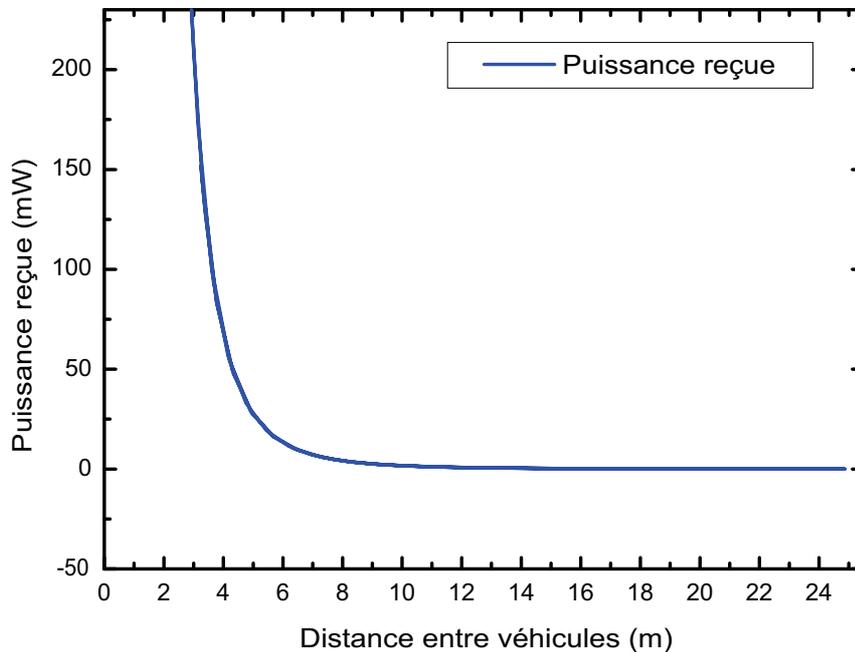


FIGURE 3.10 – Puissance reçue en fonction de la distance entre les véhicules

### 3.4 Modèle Benchmark dans les systèmes ADAS

Nous souhaitons, maintenant analyser les performances des différents protocoles et leurs influences sur le fonctionnement des systèmes ADAS coopératifs. Pour cela nous définissons une méthodologie d'évaluation notée "modèle benchmark" pour un système ADAS coopératif créant une fonction d'alerte de type anti-collision. Nous proposons de simuler un réseau de communication V2V en utilisant des données datées et traitées issues d'une scène routière réelle. Ensuite, nous rejouons ces scénarios réels avec les caractéristiques modifiées du réseau de communication V2V. Cela nous permet de tester notre ADAS qui a pour fonction de générer un signal d'alerte de type prévention de collision. La structure de notre étude est présentée dans la figure 3.11.

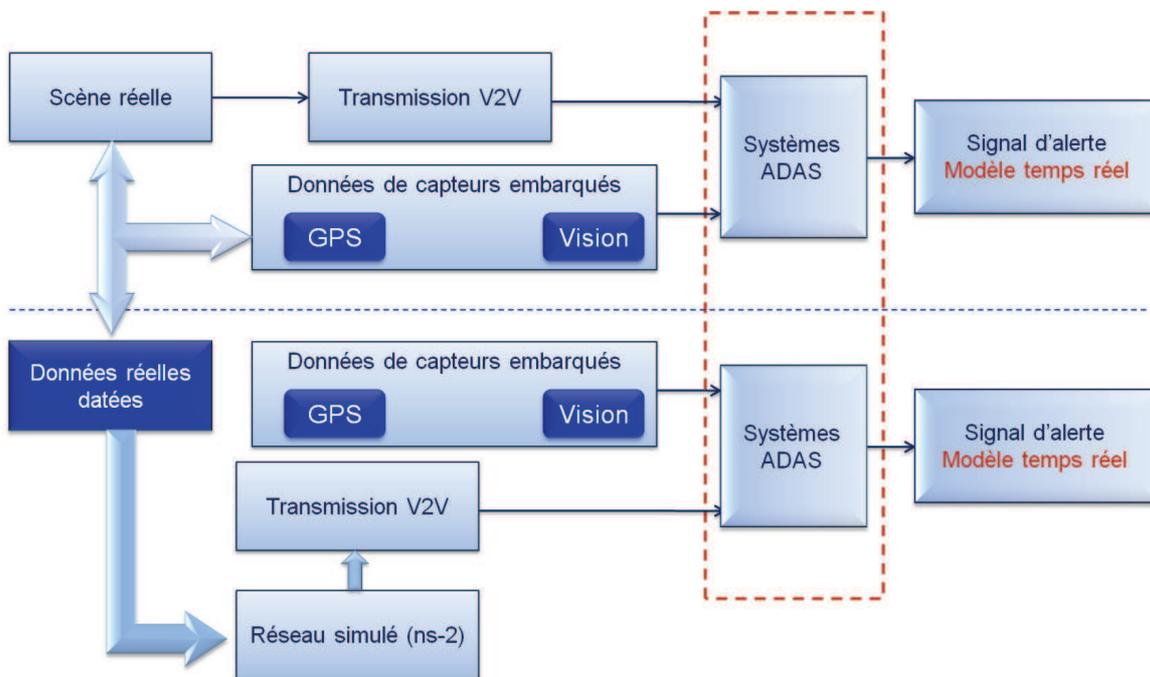


FIGURE 3.11 – Modèle benchmark dans les systèmes ADAS avec toutes les étapes qui sont effectuées pour transférer les données entre deux logiciels.

### 3.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté notre approche pour le prototypage de système ADAS basée sur la coopération entre plusieurs systèmes. Nous avons détaillé les environnements matériels et les logiciels mis en œuvre. Les modèles de mobilité et les modèles de propagation

utilisés dans le simulateur ns-2 sont présentés et détaillés. Le déroulement de la simulation sous ns-2 est décrit. Enfin nous avons présenté notre système de coopération sous RTMaps et les contraintes rencontrées, puis le modèle benchmark pour les systèmes ADAS avec toutes les étapes nécessaires qu'il faut effectuer pour réaliser un système d'alerte coopératif.

# Chapitre 4



# Chapitre 4

## Mise en œuvre et résultats

### 4.1 Introduction

Nous présentons dans ce chapitre, la Plate-forme expérimentale de communications entre les véhicules d'une part et l'environnement de simulations V2V réalisé par ns-2 d'autre part. La première partie est dédiée à la description de la Plate-forme LaRA et de son fonctionnement. La deuxième partie est consacrée aux différentes expérimentations effectuées sur cette Plate-forme en décrivant les contraintes rencontrées lors de ces expérimentations. Dans la troisième partie, nous analysons l'environnement de simulations V2V réalisé sous ns-2 pour évaluer les protocoles de routage avec des données réelles représentant les mouvements des véhicules. La quatrième et la cinquième parties mettent en œuvre, respectivement, la construction des scénarios de communication dans un environnement urbains (le site de l'INRIA Rocquencourt) et le système d'alerte coopératif. Nous évaluons par la suite ce système d'alerte dans plusieurs configurations de communication avec les acquisitions de données issues de l'expérimentation.

#### 4.1.1 Contexte et objectifs

Notre objectif est de réaliser un système de prototypage basé sur des données réelles en utilisant la coopération entre le système RTMaps et le simulateur ns-2. Cela nous permettra de concevoir un système d'alerte coopératif qui nous donne un indicateur de risque de collision. Le fonctionnement du système d'alerte est implémenté sous RTMaps en utilisant des données réelles issues des enregistrements et des données simulées calculées avec le simulateur de réseau

ns-2 pour nos configurations. Pour évaluer le système d’alerte coopératif, nous avons comparé les résultats obtenus avec la situation réelle enregistrée lors des essais et qui nous sert de référence. Nous avons testé ce système avec plusieurs scénarios qui correspondent à différentes situations routières.

## 4.2 Expérimentations sur la Plate-forme LaRA

### 4.2.1 Le prototype LaRA (C3)

Depuis la création du centre de robotique de l’Ecole des Mines de Paris en 1987, les systèmes de transports intelligents sont considérés comme un domaine de recherche pertinent [Ammoun 2007a]. Ce centre a créé le consortium LaRA [LaR 2003] qui représente une Plate-forme autonome dont l’objectif est de devenir un acteur coopératif. Ce consortium est basé sur une Plate-forme constituée par un prototype de véhicules équipés.

#### 4.2.1.1 Le prototype autonome intelligent

Le premier prototype d’un véhicule intelligent a été développé au centre de robotique à l’École Nationale Supérieure des Mines de Paris (ENSMP) afin d’être utilisé pour la conception des ADAS autonomes. La figure 4.1 montre un prototype LaRA avec ses différents capteurs embarqués. Chaque LaRA intègre plusieurs capteurs tels qu’un capteur de position (le récepteur GPS), des capteurs de perception (quatre caméras vidéo avant et arrière, scanner laser multicouches), un radar, une centrale inertielle (INS) et des capteurs proprioceptifs avec un BusCAN qui fournissent ainsi des informations concernant la vitesse longitudinale, la vitesse des roues arrières, l’éclairage des indicateurs, l’état des freins, l’angle de braquage, l’état de vitesses, etc. Notons que le cœur de cette architecture embarquée dans le véhicule est la Plate-forme logicielle RTMaps [Nashashibi 2000]. Cette Plate-forme logicielle nous fournit une technologie d’acquisition de données multi-capteurs en temps réel. Elle permet de prototyper et de développer de véritables solutions de traitement de flux de données en temps réel ou en temps différé en respectant les contraintes temporelles. Mais, ce prototype ne permet pas d’établir une communication avec les autres prototypes, ce qui exige le développement d’un système coopératif.



FIGURE 4.1 – Le prototype LaRA avec ses différents capteurs embarqués

#### 4.2.1.2 Le prototype coopératif intelligent

Dans le but d’approfondir la recherche dans le domaine des ADAS coopératifs et d’améliorer la sécurité routière, l’équipe IMARA a acquis en 2003 quatre nouveaux véhicules, Citroën C3, représentés sur la figure 4.2. Les capteurs utilisés dans les applications coopératives comprennent des récepteurs GPS, des capteurs de vision et des capteurs de communication. Toutes les données sont contrôlées en temps réel par RTMaps qui constitue un cadre de prototypage multi-capteurs avancé pour les applications d’automobiles en temps réel. Ce système coopératif contient :

- Un réseau d’acquisition de données
- Un système de vision
- Des systèmes de repérage de véhicules
- Un système de positionnement global (GPS)

Lors de nos expérimentations sur ces prototypes, le protocole pour les communications inter-véhicules n’était pas encore disponible. Pour des raisons pratiques, le système de com-



FIGURE 4.2 – La flotte de véhicules LaRA composée de quatre C3

munication des prototypes LARA était basé sur des technologies existantes et fonctionnelles [Ammoun 2007a]. En effet, dans les premières expérimentations, certains chercheurs avaient tendance à utiliser des protocoles inappropriés tels que le protocole TCP/IP. Ce protocole est compatible avec les cartes WiFi DLink DWL 2100 intégrées dans cette Plate-forme en utilisant la norme IEEE 802.11g. La norme IEEE 802.11g était bien adoptée en raison de ses performances théoriques, de sa facilité d'utilisation et de son interopérabilité interne [KHALED 2005b], mais pose de gros problèmes pour les applications routières.

Plusieurs tests préliminaires sur les véhicules ont été effectués afin de pouvoir choisir les points d'accès DLink qui utilisent la norme 802.11 g+. Les dispositifs sont contrôlés en temps réel avec RTMaps par un "Sniffer" qui a été spécialement conçu à partir de la bibliothèque LibPcap [Win]. Ce "Sniffer" est un logiciel qui espionne la communication dans les différents canaux de communication, en capturant et analysant les données brutes. Dans ce mode, l'expéditeur utilisant le logiciel "Sniffer" compose ses propres paquets et les diffuse sur le canal.

L'utilisation de ce logiciel facilite la manipulation et le contrôle de la transmission de données et la conception de nouvelles applications. Lorsqu'un véhicule veut communiquer sa position GPS (ou un autre type de données), il construit sa trame de transmission. Le rôle de ce "Sniffer" est d'assurer une communication fiable, sans utiliser de protocole de communication. La figure 4.3 représente le format de trame qui est utilisé pour la communication entre les véhicules LaRA.

L'architecture du système de communication pour les véhicules LaRA a été conçue par S. Ammoun qui a utilisé la norme WiFi 802.11g [Ammoun 2007a]. Le système de vision utilisé dans la Plate-forme LaRA est basé sur une caméra monovision formée d'un capteur de vision placé



FIGURE 4.3 – Le format de trame Communiqué entre les véhicules LaRA

à l'avant du véhicule et centré derrière le pare-brise à l'emplacement habituel du rétroviseur intérieur. Il s'agit d'une caméra CCD couleur Sony EVI-401DR (PAL) 1/3 ayant une focale de 5.6 mm qui fournit des images de taille 768x576. Cela donne une taille du pixel égale à  $8.81\mu m$ . Cette caméra permet de réaliser la détection d'obstacle sur la route et de calculer la distance inter-véhicules. Le calcul est effectué en modélisant la caméra avec le modèle sténopé et en faisant l'hypothèse que la route est plane [Challita 2009b]. Le système de géolocalisation, utilisant le système GPS, permet d'accéder à des données géo-référencées. En effet, il existe différents systèmes fréquemment utilisés :

1. Les coordonnées géographiques (longitude, latitude, hauteur ellipsoïdale) associées à un ellipsoïde tel que le GRS 80 (utilisées par exemple dans le système du GPS).
2. Les coordonnées cartésiennes dans un repère local (par exemple un repère tangent à la terre, ENU East North Up).
3. Les coordonnées cartésiennes dans un repère lié à une projection, comme la projection conique sécante Lambert 93 utilisée dans le cadre de nos travaux.

### 4.2.2 Acquisition des données réelles

Nous avons dans la Plate-forme LaRA, un système embarqué fournissant des informations temps-réel pour localiser les véhicules dans le milieu urbain. Lors de nos expériences, nous avons utilisé des modules d'acquisition de données dans les trois voitures pour acquérir les données de géolocalisation et les données vision. Cette application est définie par un diagramme contenant des modules, connectés entre eux par des fils représentant les flux de données. Ces modules sont les modules de capteurs, le module d'enregistrement, les modules de calcul en temps réel et les modules d'affichage. La figure 4.4 montre un diagramme d'acquisition, d'enregistrement de données dans le véhicule LaRA.

L'antenne GPS est connectée au PC en utilisant un port série. Nous retrouvons cet élément dans le diagramme avec le module "SerialPort". Le module "GPSTrimble" permet de décoder la

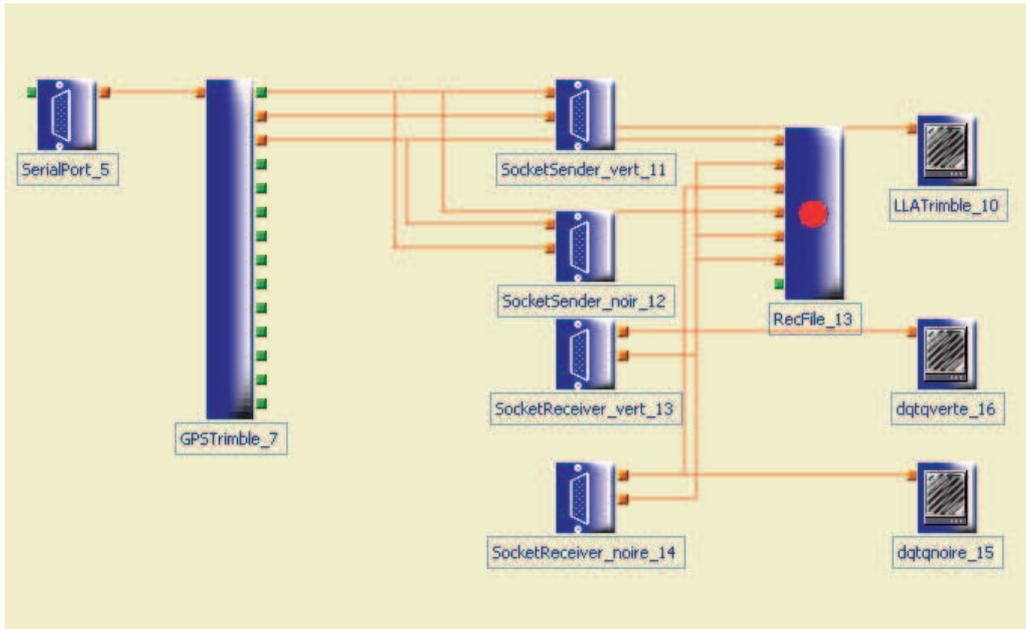


FIGURE 4.4 – Diagramme d'acquisition d'enregistrement de données

trame GPS et d'en extraire les éléments pertinents. Ces éléments sont ensuite, soit envoyés vers les autres véhicules pour alimenter les ADAS avec les modules "SocketSender", soit enregistrés avec le module "RecFile".

### 4.2.3 Les contraintes expérimentales

Lors de nos expérimentations, les mesures étaient encadrées par deux types de contraintes :

1. Les contraintes expérimentales de la Plate-forme (LaRA).
2. Les contraintes associées aux traitements des données acquises.

#### 4.2.3.1 Les contraintes expérimentales de la Plate-forme

Les contraintes expérimentales de la Plate-forme auxquelles nous avons été confrontés sont liées à l'architecture matérielle des véhicules, y compris celles du système de vision et du système de communication entre véhicules. Nous pouvons citer les contraintes suivantes :

1. La portée de la communication maximale entre les véhicules LaRA est de 350 mètres et la vitesse maximale des véhicules pour établir la communication est de 120 km/h (sur les autoroutes françaises).

2. Les véhicules qui sont séparés d'une distance de plus 60 mètres ne sont pas détectés par le système de vision.
3. Il existe une latence dans tous les systèmes embarqués, comme le système de vision, le système de communication ou le système de géolocalisation GPS.

#### 4.2.3.2 Les contraintes associées au traitement de données acquises

**Précision de GPS :** La qualité des mesures du GPS dépend de deux paramètres : la latence pour obtenir un résultat et l'erreur de mesure sur la position. Les erreurs se produisent en raison des retards lors de la transmission du signal satellite et à cause de la précision des horloges intégrées. Les erreurs dues au retard sont corrélées spatialement lorsque deux récepteurs sont proches l'un de l'autre. L'erreur dans la mesure de position est représentée par l'écart entre la position mesurée et la position réelle. Dans le cadre du projet FUI E'MOTIVE [Malek 2011], nous avons effectué une série de mesures permettant de calibrer les GPS. L'erreur sur la position horizontale est calculée par la formule suivante :

$$dh = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (4.1)$$

où l'écart de position est donné par :

$$dx = X - X_0, dy = Y - Y_0$$

Ensuite, les coordonnées planes sont traitées pour extraire des paramètres statistiques :

- *hMEAN* qui correspond à l'erreur moyenne.
- *hRMS* qui correspond à l'écart quadratique moyen (*Root Mean Squared error*).
- *hCEP* qui correspond à l'erreur circulaire probable (*Circular Error Probable*).
- *hR95* qui correspond à l'erreur probable à 95%.

*hCEP* est l'erreur à 50% (rayon *R50*). C'est le rayon du cercle à l'intérieur duquel 50% des erreurs sont localisées. Cette erreur a la même définition que la médiane des écarts. De la même manière, *hR95* est le rayon du cercle à l'intérieur duquel 95% des erreurs sont localisées.

La distribution des erreurs horizontales a été comparée avec une modélisation utilisant une

distribution de Rayleigh dont la densité de probabilité est donnée par :

$$f(x) = \frac{2 \cdot x}{hRMS} \exp \left[ - \left( \frac{x}{hRMS} \right)^2 \right] \quad (4.2)$$

Le récepteur utilisé est le *BU – 353* de GlobalSat basé sur l'antenne "SiRF StarIII". Cette antenne est très utilisée dans l'industrie automobile. L'écart de position est représenté sur la figure 4.5 qui montre la courbe de dispersion.

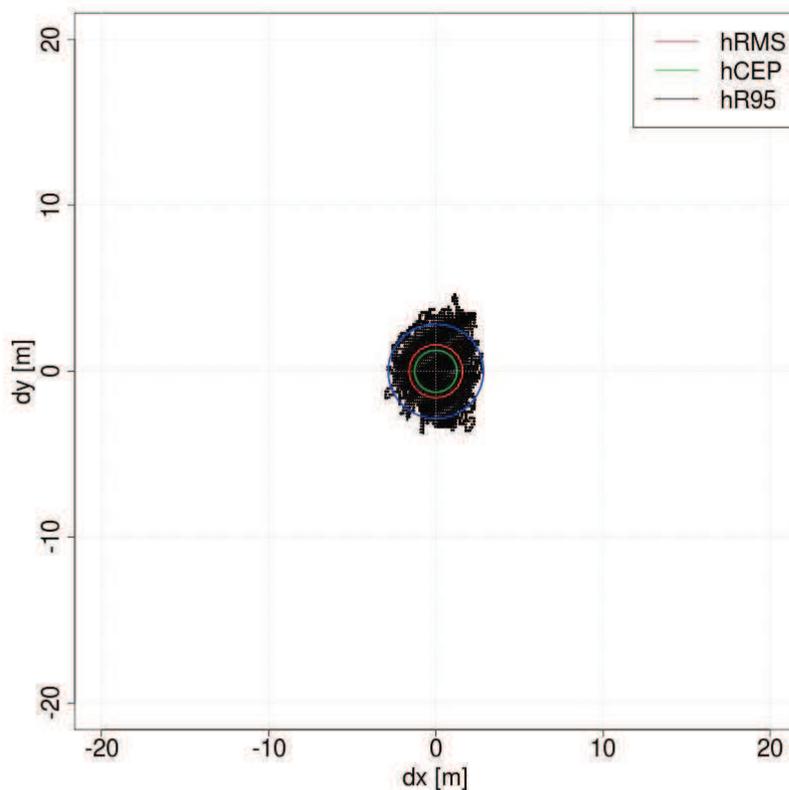


FIGURE 4.5 – Courbe de dispersion  $dy = f(dx)$  mesurée pour le GPS utilisé

Les différents paramètres statistiques, suivant les directions horizontales, sont récapitulés dans le tableau 4.1.

Toutes les mesures sont définies en mètre. L'écart moyen mesuré est de l'ordre de 1,4 m. Cette valeur ne peut être considérée comme négligeable. Nous allons devoir en tenir compte lors

XMEAN	559662,40	hMEAN	1,395	1,413
YMEAN	6922407,00	hRMS	1,594	(Mesuré)
ZMEAN	82,07	hCEP	1,263	1,323
		hR95	2,847	2,790

TABLE 4.1 – Paramètres statistiques calculés à partir des mesures réelles (GPS)

des transformations des données GPS pour une utilisation dans le simulateur ns-2. Par contre, nous pouvons noter la concordance entre les paramètres mesurés et théoriques obtenus par la modélisation avec une distribution de Rayleigh.

**Synchronisation des données GPS :** Lors des tests, nous n'avons pas pu synchroniser les horloges des enregistrements des trois véhicules LaRA. Nous avons donc été confrontés au problème de non-synchronisation temporelle des mesures de géolocalisation GPS. Afin de résoudre ce problème, une analyse et un pré-traitement sont nécessaires pour valider les données de géolocalisation. Pour synchroniser les bases de temps, nous avons analysé les temps pour un même évènement enregistré par les trois véhicules. Un évènement peut être défini par la position particulière d'un véhicule. Nous avons remarqué que la différence existante est due à :

- La désynchronisation des bases de temps,
- La latence dans la transmission de l'évènement
- Les délais dans la réception

Nous avons estimé les temps de latences de la chaîne de traitement, ce qui nous a permis d'estimer le décalage temporel des trois bases de temps. Ensuite, nous avons réenregistré nos données en prenant en compte ce décalage temporel. Cela permet d'obtenir un seul flux de données synchronisées. La figure 4.6 présente le problème de synchronisation entre trois bases de données enregistrées. Les bases de temps sont exprimées par les équations suivantes :

$$T_{(A_i/B)} = T_{(A_i/A)} + \Delta T_{r(A_i/AB)} - \Delta_{BA} \quad (4.3)$$

$$T_{(B_i/A)} = T_{(B_i/B)} + \Delta T_{r(B_i/AB)} - \Delta_{BA} \quad (4.4)$$

Où :

- $A, B, C$  sont les véhicules de l'essai.

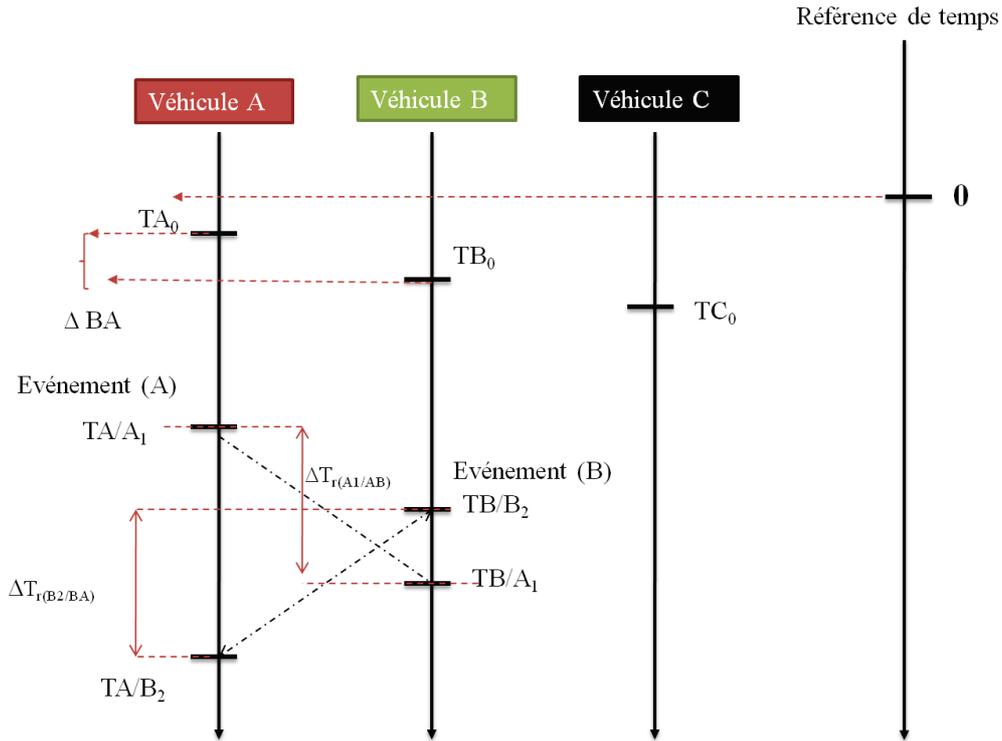


FIGURE 4.6 – Bases de temps de l’enregistrement des données reçues dans les véhicules LaRA

- $T_{(B_i/A)}$  : Date de l’évènement ( $i$ ) observé par le véhicule  $B$ , référencée dans la base de temps du véhicule  $A$  après sa réception. Cette date est donnée avec une erreur à cause des latences, des délais de transmission et du décalage entre les bases de temps.
- $T_{(A_i/B)}$  : Date de l’évènement ( $i$ ) observé par le véhicule  $A$ , référencée dans la base de temps du véhicule  $B$  après sa réception.
- $\Delta T_{r(A_i/AB)}$  : Le temps de la latence dans la transmission entre les véhicules  $A$  et  $B$  de l’évènement ( $i$ ) observé par le véhicule  $A$ .
- $\Delta_{BA}$  : La différence entre les deux bases de temps.

Pour estimer le décalage dans les bases de temps, nous posons les hypothèses suivantes :

- La datation d’un évènement perçu par un véhicule est correcte dans sa base de temps.
- Les latences sont constantes, les délais sont variables.
- Les systèmes de communications sont symétriques,

Ainsi, on considère que les temps de transfert minimums sont équivalents entre les trois véhicules et exprimés par l'équation suivante :

$$\Delta_{BA} = \frac{\min \{T_{A/B_i} - T_{B/B_i}\} - \min \{T_{B/A_i} - T_{A/A_i}\}}{2} \quad (4.5)$$

Où  $T_{(N/M_i)}$  est la référence dans la base de temps du véhicule N liée à un événement (i) reçu par le véhicule M. La durée  $\Delta T_{r(M_i/MN)}$  est le temps de transmission entre le véhicule M et le véhicule N liée à l'événement perçu par le véhicule M. En traitant les fichiers des données de géolocalisation GPS, nous avons un grand nombre d'évènements, ce qui nous permet d'obtenir une bonne estimation de  $\Delta_{BA}$ .

**Méthode d'intégration des données dans le simulateur ns-2 :** Nous allons présenter dans ce paragraphe la méthode d'extraction des positions des véhicules afin de les intégrer dans le simulateur ns-2. Le fichier de données GPS initial contient la longitude, la latitude et l'altitude d'un véhicule à chaque instant. Un exemple de ce type de fichiers est montré sur la figure 4.7. La figure 4.8 montre un fichier enregistré avec les données sélectionnées pour nos expérimentations. Les fichiers de positions contiennent entre 5 et 10 données acquises pendant une seconde. Nous avons fait un sous-échantillonnage spatio-temporel associé aux contraintes temporelle et spatiale des données (i.e. choisir une valeur sur dix mesures par seconde à condition que le déplacement soit supérieur à l'écart-type de 1,4 [m]). Les positions converties en données cartésiennes sont intégrées dans le simulateur ns-2 afin de localiser les nœuds dans l'espace de simulation prédéfini.

L'intégration des données dans le simulateur ns-2 peut se décomposer en plusieurs étapes :

1. Extraire ces positions réelles à partir des fichiers enregistrés lors de différentes expérimentations avec la Plate-forme LaRA.
2. Convertir les positions GPS définies en degrés en données cartésiennes et tracer la trajectoire des véhicules par chaque scénario.
3. Sous-échantillonner les données cartésiennes pour pouvoir calculer correctement la vitesse.
4. Intégrer les positions et les vitesses des véhicules dans ns-2 en construisant un script de simulation.

```

RTMaps v3.4
Engine v3.4.0 (build 99) for win32 (build 36)
Copyright (c) 2000-2007 INTEMPORA S.A.
This product is licensed to registered RTMaps user only.
Session: unspecified
Launched at 15:06:50.328 (23/02/2009)
[STDB v2.0]
Offset (sec) : 0
[Data]
00:00.5655 / SerialPort_5.streamOutput#0@00:00.5634F3840000
00:00.5657 @ Record SerialPort_5.streamOutput
(serialPort.streamOutput[0xc000000000001000,,,32,50]) as rrmstream
00:00.5782 / SerialPort_5.streamOutput#1@00:00.5652F3840000
00:00.5907 / SerialPort_5.streamOutput#2@00:00.5767F3840000
00:00.5968 / SerialPort_5.streamOutput#3@00:00.5897F3840000
00:00.6904 / SerialPort_5.streamOutput#4@00:00.6863F3840000
00:00.6905 / SerialPort_5.streamOutput#5@00:00.6863F3840000
00:00.6906 / SerialPort_5.streamOutput#6@00:00.6863F3840000
00:00.7842 / SerialPort_5.streamOutput#7@00:00.6875F3840000
00:00.7843 / SerialPort_5.streamOutput#8@00:00.7655F3840000
00:00.8467 / SerialPort_5.streamOutput#9@00:00.7786F3840000
00:00.8622 / SerialPort_5.streamOutput#10@00:00.8350F3840000
00:00.8624 / SerialPort_5.streamOutput#11@00:00.8615F3840000
00:00.8767 / SerialPort_5.streamOutput#12@00:00.8637F3840000
00:00.8780 / SerialPort_5.streamOutput#13@00:00.8752F3840000
00:00.8914 / SerialPort_5.streamOutput#14@00:00.8784F3840000
00:00.9042 / SerialPort_5.streamOutput#15@00:00.8899F3840000
00:00.9092 / SerialPort_5.streamOutput#16@00:00.9039F3840000
00:00.9800 / SerialPort_5.streamOutput#17@00:00.9669F3840000
00:00.9874 / SerialPort_5.streamOutput#18@00:00.9785F3840000
00:01.0006 / SerialPort_5.streamOutput#19@00:00.9876F3840000
00:01.0186 / SerialPort_5.streamOutput#20@00:00.9991F3840000
00:01.0337 / Camera1394_DCAM_8.iplImage#0@00:01.0317
00:01.0362 @ Record Camera1394_DCAM_8.iplImage
(Camera1394_DCAM_8.IplImage[0x8000000000000020,,,16,0]) as jseq
00:01.0655 / SerialPort_5.streamOutput#21@00:01.0614F3840000

```

FIGURE 4.7 – Exemple de fichier enregistré sous RTMaps avant-traitement

**Transformation et mise en forme des données** Après avoir résolu le problème de synchronisation entre les trois bases de données, nous avons transformé des données dans un format compatible pour l'intégration dans des scripts de commande de simulateur ns-2. Pour plus de détails concernant la réalisation des interfaces, nous présentons la relation entre les fichiers de sortie de RTMaps au format (.REC) et les fichiers de sortie du simulateur ns-2 au format (.TCL). Pour notre étude, nous disposons de 3 véhicules définis par un identifiant ( $id = 1, 2, 3$ ). Pour chaque évènement, on associe l'instant d'acquisition et la position du véhicule ( $x, y, z$ ). Nous calculons le vecteur vitesse ( $V_x, V_y$ ) en utilisant les données GPS mises en forme. Nous pouvons remarquer que les récepteurs GPS donnent les positions des véhicules en utilisant un système européen actuel conservant les angles (ETRS-LCC). Il est important de noter que le système d'information géographique utilisé dans notre étude est le système de coordonnées cartésiennes qui définit les coordonnées en mètre. Pour transformer les positions géographiques

```

RTMaps v3.4
Engine v3.4.3 (build 99) for win32 (build 36)
Copyright (c) 2000-2009 INTEMPORA S.A.
This product is licensed to registered RTMaps user only.
Session: unspecified
Launched at 10:11:18.500 (18/09/2009)
[STDB v2.0]
Offset (sec) : 0
[Data]
00:00.9864 / SocketReceiver_vert_13.output0#0@-
26320682:10:09.2646=0.852368120004      0.0367052785446 185.936590092
112439.483256      8.05456066132
00:00.9886 /
SocketReceiver_noire_14.output1#0@25324295:14:31.9288=0.0425302572548
0.0219537038356 0.113566204906 120.3540802      8.05455970764
00:00.9917 / SocketReceiver_vert_13.output1#0@-26320682:10:09.2646=-
0.10097707808      1.03038239479      0.142615377903 133.087402344
8.05456066132
00:01.0139 /
SocketReceiver_noire_14.output0#0@25324295:14:31.9288=0.852367732164
0.0367032674691 184.570695757      30843.9461578      8.05456066132
00:01.0248 / SocketReceiver_noire_14.output1#1@25324295:14:31.9288=-
0.00163931399584      0.0200206376612 -0.0695603638887
120.478218079      8.05456066132
00:01.0288 @ Record SocketReceiver_vert_13.output0
(SocketReceiver.output[0x8000000000000004,,16,5]) as tabbed_text
00:01.0300 @ Record SocketReceiver_noire_14.output0
(SocketReceiver.output[0x8000000000000004,,16,5]) as tabbed_text
00:01.0309 @ Record SocketReceiver_vert_13.output1
(SocketReceiver.output[0x8000000000000004,,16,5]) as tabbed_text
00:01.0317 @ Record SocketReceiver_noire_14.output1
(SocketReceiver.output[0x8000000000000004,,16,5]) as tabbed_text
00:01.0549 /
SocketReceiver_noire_14.output0#1@25324295:14:31.9288=0.852367732152
0.0367032665621 184.566904426      30855.9915895      8.05456161499
00:01.0624 / SocketReceiver_noire_14.output1#2@25324295:14:31.9288=-

```

FIGURE 4.8 – Fichier enregistré avec les données sélectionnées issues de nos expérimentations

(WGS84, LLA) en coordonnées planes (système de projection Lambert93,  $xyz$ ) par ( $X$  (Est),  $Y$  (Nord),  $Z$  (Altitude)), nous avons utilisé le logiciel Circé 3.2. Circé est un logiciel mis en œuvre par l'Institut géographique national français (IGN) pour effectuer des reprojections de listes de points. Le tableau 4.2 donne un exemple de données GPS traitées et validées pour ns-2.

Nous présentons ensuite un exemple de fichier résultat, appelé fichier "trace" généré par le simulateur ns-2. Dans ce fichier, les positions initiales, les coordonnées des destinations et les vitesses doivent être définies pour les différents nœuds. La simulation d'un réseau sans fil sous le simulateur ns-2 produit des événements notés dans un fichier résultats et une animation graphique qui permet de vérifier la cohérence de la simulation. Le fichier résultat "trace" contient toutes les informations sur les paquets de transmission, les paquets de retransmission, les pertes de paquets, les paquets reçus, le temps de la réception et la taille des paquets. Un exemple de fichier résultat "trace" d'une simulation d'un réseau sans fil contenant les événements du réseau

TABLE 4.2 – Exemple de données GPS traitées et validées pour ns-2

Temps de la mesure (s)	id	Position x (m)	Position y (m)	Vitesse (m/s)
28,251	1	47,5155	556,019	4,70577144
63,5605	0	45,0025	551,967	2,55788855
74,4049	2	44,1765	559,071	2,06682818
101.1537	1	75.9135	439.229	5.78817923
101.2033	2	76.8415	434.188	7.17093465
101.2546	0	102.3955	325.922	7.88388193
119.5622	1	109.5315	304.899	5.4743328
119.5707	0	125.8915	197.992	11.4150541
119.6151	2	109.6815	300.454	9.86167392

est donné par la figure ci-dessous :

Les lignes commençant par M indiquent l'état initial de nœuds. Elles contiennent les informations suivantes :

- l'identifiant du nœud (id = 0, 1, 2)
- la position initiale du nœud dans un repère cartésien
- la position finale
- la vitesse du nœud à partir de cet instant en m/s

Les lignes commençant par *r* donnent des informations sur la réception des paquets. Les lignes commençant par *s* donnent des informations sur l'émission des paquets. En effet, le fichier résultat contient des informations telles que la date de l'événement, le nœud associé à l'événement, le type de protocole associé aux paquets, la taille des paquets, la durée de vie (Time-To-Live, TTL) des paquets et la paire émetteur-récepteur du paquet. Ces fichiers "résultats" seront traités pour extraire des informations sur la date de réception et pour identifier les paquets reçus en utilisant le langage AWK. AWK est un langage de scripting sous unix spécialisé dans la parsing de texte ou de résultat de commande comme les résultats de simulations "traces".

```

s 140.127652637 _5_ AGT --- 7132 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[5:3 1:9 32 0] [74] 0 0

r 140.127652637 _5_ RTR --- 7132 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[5:3 1:9 32 0] [74] 0 0

s 140.127652637 _5_ RTR --- 7132 cbr 554 [0 0 0 0] -----
[5:3 1:9 31 1] [74] 0 0

r 140.133806877 _1_ AGT --- 7132 cbr 554 [13a 1 5 800]
----- [5:3 1:9 31 1] [74] 1 0

s 140.133917571 _16_ AGT --- 7133 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[16:2 1:30 32 0] [70] 0 0

r 140.133917571 _16_ RTR --- 7133 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[16:2 1:30 32 0] [70] 0 0

s 140.133917571 _16_ RTR --- 7133 cbr 554 [0 0 0 0] -----
[16:2 1:30 31 1] [70] 0 0

s 140.147372878 _1_ AGT --- 7134 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[1:10 6:2 32 0] [70] 0 0

r 140.147372878 _1_ RTR --- 7134 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[1:10 6:2 32 0] [70] 0 0

M 140.15310 0 (201.44, 108.53, 0.00), (192.50, 101.08), 5.33

M 140.15520 1 (200.96, 100.12, 0.00), (200.63, 100.08), 4.48

s 140.160681271 _3_ AGT --- 7135 cbr 512 [0 0 0 0] -----
[3:1 0:5 32 0] [68] 0 0

```

FIGURE 4.9 – Exemple de traces de simulation GPSR dans ns-2

### 4.3 Scénarios de communication entre véhicules

Afin d'étudier la performance du réseau sans fil et pour évaluer les données acquises dans différentes situations, nous avons simulé les communications entre véhicules avec quatre scéna-

rios correspondant à des situations routières caractéristiques et décrits dans la figure 4.10. Ces scénarios ont été enregistré lors de nos expérimentations effectuées à l'INRIA Rocquencourt. Ils peuvent être explicités comme suit :

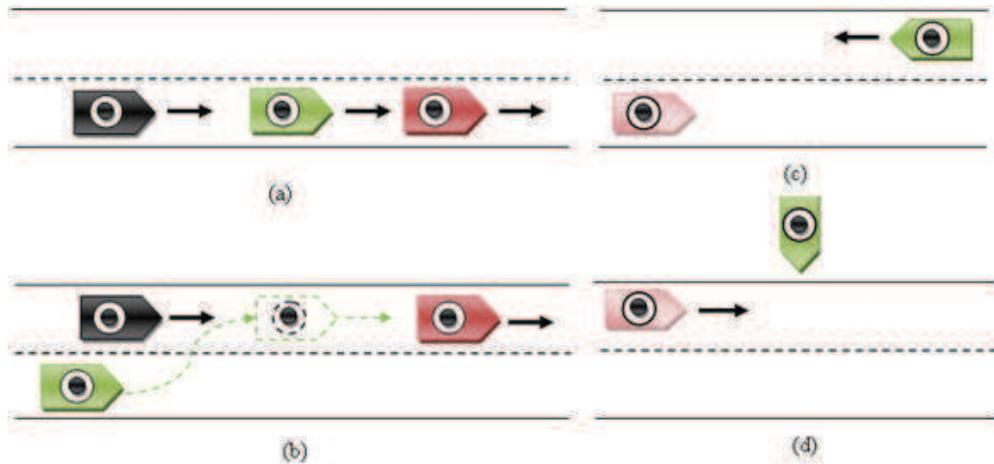


FIGURE 4.10 – Scénarios de communications entre véhicules : (a) *Platooning* (b) Insertion d'un véhicule (c) Croisement de deux véhicules (d) Dépassement d'un véhicule

**Platooning** Une application des systèmes avancés d'aide à la conduite est le suivi de véhicules ou le peloton. Ce dernier est une technique utilisée pour faire suivre un ou plusieurs véhicules derrière un véhicule leader afin de former une flotte de véhicules. Cette application est utile dans les situations où deux ou plusieurs véhicules roulent dans le même sens, à condition d'assurer toujours une distance minimale entre les véhicules. Le traitement d'images et les techniques de localisation GPS peuvent être utilisés dans cette application. Dans notre étude, le premier scénario appelé *platooning* représente un scénario de convoi de trois véhicules, dont leurs vitesses maximales sont respectivement :  $V_0 = 36$  km/h,  $V_1 = 46$  km/h et  $V_2 = 36$  km/h. Ce scénario est simple mais il constitue une situation essentielle pour les communications entre véhicules. L'application d'un tel scénario permet d'avoir un peloton de véhicules ayant une inter-distance de 10 (m). Cette faible inter-distance permet de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, en limitant l'influence de la résistance de l'air et respectant ainsi l'environnement. Le véhicule Lara C3 rouge est le premier véhicule du peloton, suit ensuite la C3 verte et finalement la C3 noire. La figure 4.11 représente la trajectoire des trois véhicules visualisée avec le logiciel « Google Earth ».

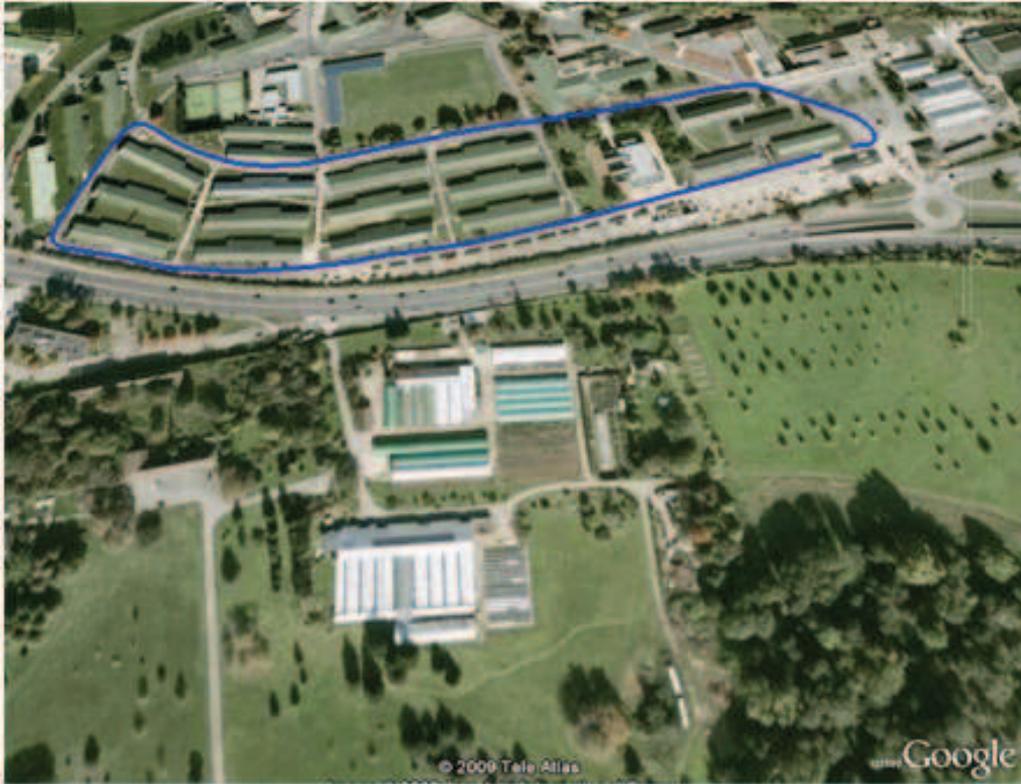


FIGURE 4.11 – La trajectoire de véhicules visualisée avec le logiciel Google Earth (campus de Paris- Rocquencourt)

**Insertion d'un véhicule** Dans ce scénario, deux véhicules se suivent à une distance d'environ 10 m et à un instant donné le véhicule  $V_3$  s'intercale entre les véhicules  $V_1$  et  $V_2$ . Ceci nécessite la décélération du véhicule  $V_2$  pour avoir un nouveau peloton de trois véhicules. Dans nos expérimentations, il est à noter que les vitesses maximales pour ce scénario sont :  $V_0= 43$  km/h,  $V_1= 45$  km/h,  $V_2= 36$  km/h.

**Croisement de deux véhicules** Le troisième scénario traite le croisement de deux véhicules qui roulent en sens opposés (voir figure 4.10 (c)). Ce scénario se retrouve aussi lorsqu'une voiture s'arrête à une intersection pour laisser passer un autre véhicule. Nous avons testé ce scénario à une vitesse modérée de 24 km/h et à une vitesse maximale de 43 km/h. La figure 4.12 montre la trajectoire des véhicules aller-retour visualisée avec le logiciel « Google Earth » (campus de Paris-Rocquencourt).

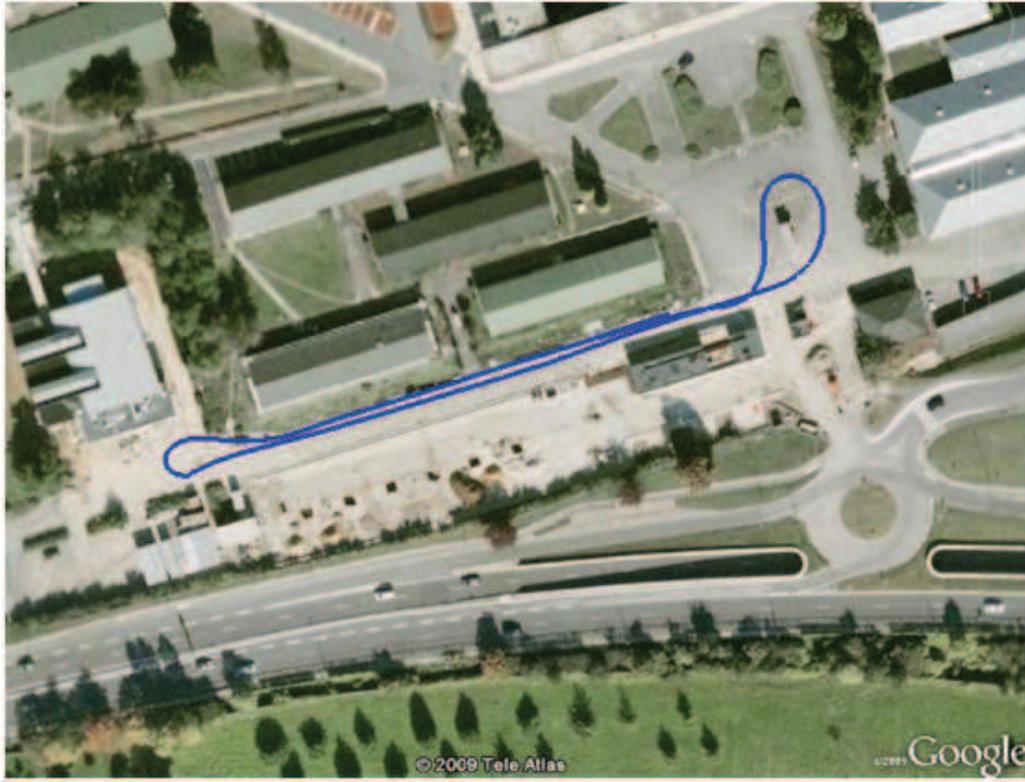


FIGURE 4.12 – La trajectoire de véhicules aller-retour visualisée avec le logiciel Google Earth (campus de Paris-Rocquencourt)

**Dépassement d'un véhicule** Ce dernier scénario correspond au dépassement d'un véhicule immobile comme le montre la figure 4.10 (d). C'est une situation assez fréquente notamment dans les intersections. La Citroën C3 verte dépasse, à un instant donné, la Citroën C3 noire. Les vitesses maximales des véhicules sont :  $V_0=41$  km/h,  $V_1= 47$  km/h et en fin  $V_2= 42$  km/h.

## 4.4 Analyse des simulations V2V sous ns-2

Afin d'évaluer les protocoles de routage, il est nécessaire d'obtenir les positions des véhicules en mouvement. En outre, lorsque les positions réelles de véhicules sont disponibles, l'évaluation de l'efficacité des protocoles de routage et l'analyse du comportement du réseau sont précises. Puis, nous avons simulé dans le simulateur ns-2 un réseau ad-hoc dont les nœuds sont les véhicules expérimentaux en utilisant les mouvements enregistrés des véhicules. L'architecture du réseau simulé est similaire à celui utilisé par la Plate-forme LaRA communicante. Ensuite,

nous avons utilisé des protocoles de routage spécialisés pour les réseaux MANET qui sont implémentés dans le simulateur ns-2 tels que : AODV, DSR, DSDV. Par ailleurs, nous avons simulé un protocole géographique adapté aux réseaux VANETs (le protocole GPSR) afin de comparer ces performances avec les protocoles classiques. Nous pouvons signaler que le module de chaque protocole a été intégré sous la version ns-2.33 avec les modifications nécessaires.

#### 4.4.1 Evaluation des protocoles de routage avec des données réelles

L'objectif de cette partie est de présenter la démarche et les scripts que nous avons mis en place pour évaluer les différents algorithmes de routage en utilisant les positions réelles des véhicules. Pour la simulation, les sources de trafic dans le réseau simulé sont de type CBR (*Constant Bit Rate*), cela permet d'envoyer les paquets à des intervalles de temps réguliers. La taille des paquets est de 512 octets et le protocole utilisé pour transférer ces paquets est le protocole UDP (*User Datagram Protocol*), en notant que tous les nœuds du réseau sont à la fois des sources et des destinations. Grâce à la liaison radio IEEE802.11g, chaque véhicule peut envoyer des paquets à un débit de 2 Mbit/s avec une portée maximale de 250 mètres. Les métriques qui évaluent la performance sont décrites avec plusieurs paramètres que nous retrouvons dans les fichiers résultats des simulations, notés aussi « fichiers traces ». Parmi les métriques significatives, nous avons choisi le taux de livraison de paquets, le délai de livraison de bout-en-bout et le taux de surcharge du réseau. Dans la suite, nous définissons chaque paramètre.

##### 4.4.1.1 Taux de livraison de paquets (*PDR*)

C'est le rapport entre les paquets livrés et les paquets engendrés par le générateur de trafic. Ce rapport est appelé taux de livraison de paquets (*Packet Delivery Ratio*). Sur la figure 4.13, nous avons tracé les valeurs des PDR en fonction du temps pour quatre protocoles. Nos résultats de simulations montrent que les protocoles DSR et DSDV atteignent la plus grande valeur de PDR qui est de 100% par rapport aux valeurs obtenues avec le protocole AODV. Par contre, le protocole de routage GPSR est caractérisé par une valeur faible de PDR qui est d'environ de 65%. En effet, dans le routage géographique, les paquets de données sont transmis de la source à la destination à l'aide des informations fournies par le GPS. Dans cette catégorie de routage,

il est connu que le taux de livraison des paquets est raisonnable et le délai de bout en bout est faible. Les résultats que nous avons eus sont justifiés par le fait que les nœuds inondent le réseau en envoyant des paquets de signalement contenant la position et l'identifiant du nœud. Cela provoque un plus grand nombre de collisions entre les paquets.

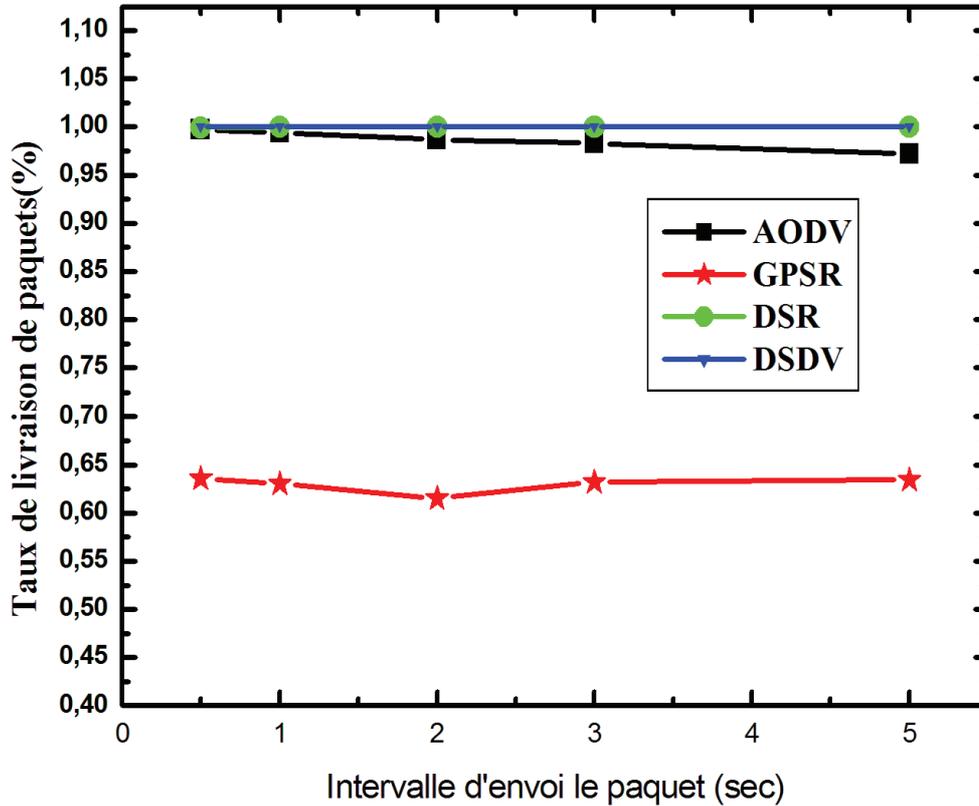


FIGURE 4.13 – Evolution du rapport PDR en fonction du temps

#### 4.4.1.2 Taux de surcharge du réseau (*NRL*)

C'est le nombre de paquets de routage envoyé divisé par le nombre de paquets de données transmis entre les nœuds. Ceci fournit une estimation de la bande passante du réseau consommée pour transmettre des paquets de routage par rapport aux paquets de données utiles [Guo 2009]. Dans les simulations des protocoles en utilisant les données réelles, nous pouvons obtenir un NRL de 0.43 pour GPSR, 0.03 pour DSR et AODV et enfin 0.08 pour DSDV. Nous observons que le protocole GPSR montre une charge de réseau élevée par rapport aux autres protocoles en raison des collisions plus fréquentes entre les paquets. Le taux de surcharge du réseau augmente aussi avec la distance et dépend de la quantité de données livrées [Guo 2009].

#### 4.4.1.3 Délai de livraison de bout en bout (*A EED*)

Le délai de livraison de bout en bout, appelé *Average End-To-End Delay*, représente la latence qui sépare le moment de l'envoi d'un paquet par la couche transport du nœud source et le moment de réception de ce paquet par la couche transport du nœud destination. Il inclut le temps de latence pour la découverte des routes, le temps de passage dans les files d'attente des nœuds intermédiaires et le temps de transmission d'un nœud vers un autre. Les délais sont donc mesurés pour tous les paquets reçus pendant la durée de la simulation, puis une moyenne est calculée. Lorsque ce délai est faible, l'échange des données de capteurs est plus rapide entre les véhicules. Cette métrique représente donc l'efficacité du protocole en termes de temps de réponse et de choix des chemins optimaux. Elle est aussi une contrainte très importante pour les applications de type ADAS communicants.

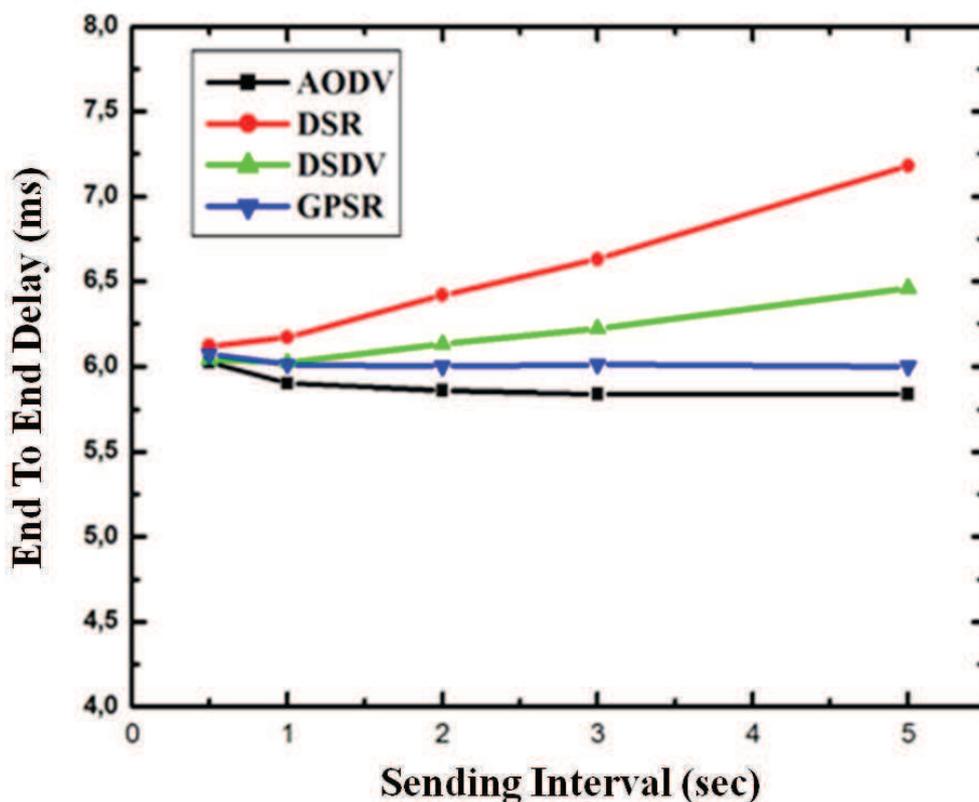


FIGURE 4.14 – Délai de bout en bout en fonction de l'intervalle de temps d'envoyer le paquet

Les simulations sous le simulateur ns-2 montrent que le délai de bout en bout pour le protocole GPSR est inférieur à celui des protocoles DSR et DSDV. La figure 4.14 montre le délai de livraison de bout en bout en fonction de l'intervalle qui existe entre les envois de

paquets pour les quatre protocoles utilisés. Nous pouvons constater que le protocole AODV offre le meilleur résultat en termes du délai de livraison de bout en bout. DSR souffre d'un délai très élevé car les routes construites des sources aux destinations changent continuellement en raison de la forte mobilité. Le tableau 4.3 récapitule pour chaque protocole simulé le nombre de paquets envoyés, paquets reçus, paquets droppés et paquets de routage. Au travers des plusieurs simulations, H. Guo [Guo 2009] a montré que la mobilité des nœuds et la taille du réseau affectent les performances des algorithmes de routage réactifs plus particulièrement AODV et d'une manière significative par rapport à l'algorithme GPSR. Nos résultats corroborent les travaux de H. Guo car notre réseau n'est pas chargé (il n'y a que trois véhicules proches l'un des autres).

TABLE 4.3 – Résultats de simulations sous ns-2

Scénario de croisement	AODV	DSDV	DSR	GPSR
Paquets envoyés	525	529	513	513
Paquets reçus	518	529	513	315
Paquets droppés	6	0	0	0
Paquets de routage	18	45	14	143

## 4.5 Mise en œuvre et évaluation d'un système d'alerte coopératif

Dans cette section, nous nous sommes intéressés à l'étude des avantages de notre approche, en proposant une application ADAS qui détermine des valeurs importantes pour l'estimation du risque. Dans le but d'intégrer les résultats des simulations dans RTMaps, nous avons développé un système d'alerte coopératif entre les véhicules. En effet, ce système intègre les données de deux systèmes de simulations (le simulateur ns-2 et RTMaps) dans le cadre d'une nouvelle Plate-forme de prototypage. Les informations extraites des fichiers résultats de la simulation de réseau sont transférées avec le module "CVS importateur" vers RTMaps. Puis, nous avons implémenté un composant pour fusionner les informations issues de la simulation de réseau avec les enregistrements des données capteurs. Ce composant permet de rejouer les données

des véhicules acquises sous RTMaps et avec des caractéristiques de réseaux calculées avec le simulateur ns-2. Le couplage entre ns-2 et RTMaps a trois objectifs :

1. Intégrer les positions réelles des véhicules et tester les protocoles de routage avec nos scénarios dans le but d'améliorer la précision de la simulation des systèmes de communication des véhicules.
2. Tester les performances des algorithmes de routage et leurs conséquences pour les systèmes d'aide à la conduite de type ADAS communicants.
3. Créer de nouveaux scénarios pour analyser de nouvelles situations expérimentales.

Nous allons mettre en œuvre notre système de prototypage dans le cadre d'un ADAS communicant qui a pour but d'évaluer le risque de collision. Cet ADAS communicant peut être analysé à travers les paramètres suivants :

**Le temps à collision (*TTC*) :** Le temps à collision représente la période de temps avant une collision probable. Cette période donne une marge de manœuvre nécessaire pour éviter la collision ou déterminer son impact si la collision est inévitable. Ce paramètre est donné avec l'équation suivante :

$$TTC(s) = \frac{D(m)}{V(m/s)} \quad (4.6)$$

Où  $D$  : Distance entre véhicules (m),  $V$  : Vitesse relative (m/s)

La distance inter-véhiculaire représente la distance qui existe entre deux véhicules qui se suivent. La courbe de la figure 4.15 illustre la fonction classique du risque de collision qui est formée de deux zones où le niveau de risque est constant :

1. Si le TTC est inférieur à 3 s : le risque est maximal et la collision est inévitable en cas d'événement, comme par exemple un freinage brusque.
2. Si le TTC est supérieur à 5 s : ce temps donne la possibilité au conducteur d'anticiper le risque et de réagir correctement. Dans ce cas, le risque est minimal.

Entre ces deux zones, il existe une partie où la variation du niveau de risque est linéaire en fonction du TTC. Jusqu'à maintenant, le TTC est toujours le principal indicateur de risque.

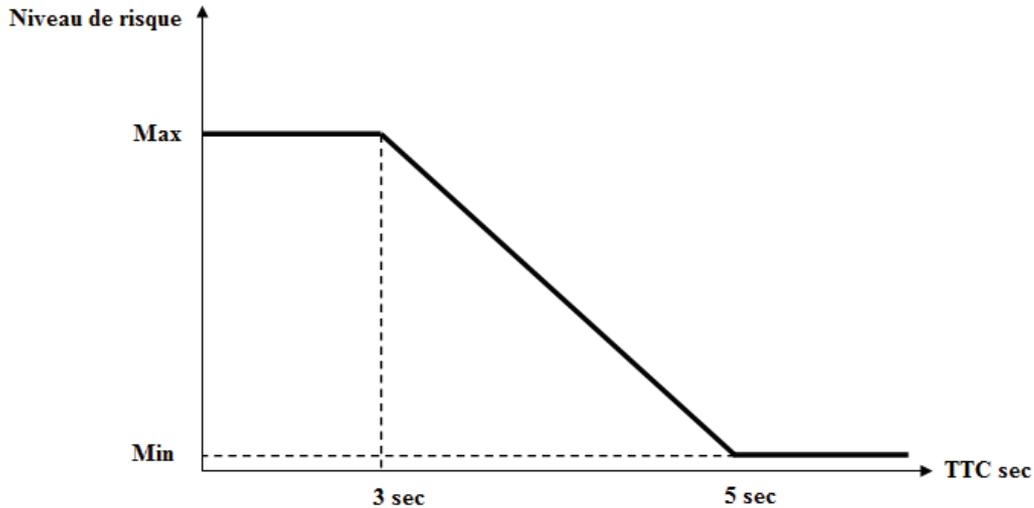


FIGURE 4.15 – La fonction du risque [Ammoun 2009]

**Time To Impact (TTI) :** Il est calculé comme la durée entre le temps actuel et le moment du premier impact entre les véhicules si ces véhicules gardent toujours leurs vitesses constantes. Ce paramètre est donné par l'équation 4.7 selon l'étude de S. Ammoun [Ammoun 2007b].

$$TTI = \frac{(-v + \sqrt{v^2 + 2.a.d})}{a} \quad (4.7)$$

Avec :  $a - \left(\frac{v^2}{2d}\right)$  si  $a < 0$

Où (a, v) sont respectivement l'accélération et la vitesse du véhicule définie en m/s.

**Le nombre maximal de cercles TTC qui se superposent entre deux véhicules :** Ce nombre de cercles donne une idée sur le niveau de danger [Ammoun 2010]. La situation qui implique un grand nombre de cercles se superposant est considérée comme la plus dangereuse (voir figure 4.16).

#### 4.5.1 Evaluation du système d'alerte

Pour évaluer un système d'alerte, nous considérons les deux types d'événements suivants :

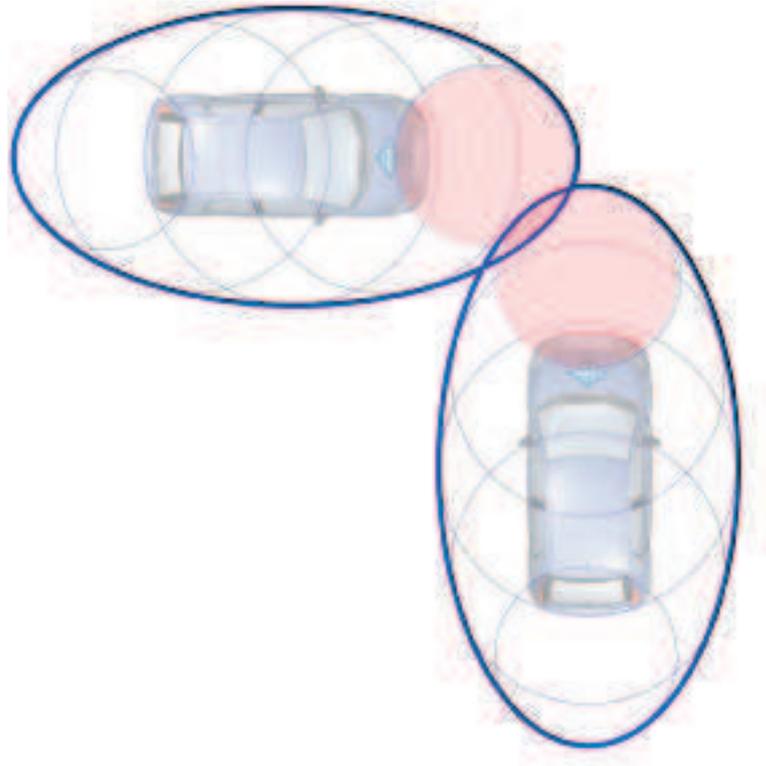


FIGURE 4.16 – La détection de collision est effectuée par l'analyse des cercles autour de chaque véhicule [Ammoun 2007a]

1. Collision : Cette situation se produit lorsque deux véhicules ont la même position à un instant donné.
2. Pré-collision : Lorsque la distance inter-véhicules est inférieure à un seuil de sécurité ou la valeur du TTC est inférieure à 3 secondes, ce qui est le cas dans notre étude. Le nombre de pré-collisions peut être considéré comme un indice de comparaison pour étudier la corrélation entre les données de référence enregistrées avec RTMaps et les situations simulées avec le simulateur ns-2. Les données de référence permettent d'avoir la vérité terrain et donc de déterminer le nombre exact de situations de pré-collision. Nous nous intéressons à l'indice de pré-collision car nous ne disposons pas d'information concernant une vraie collision.

Les valeurs de la distance entre véhicules et du temps à collision sont calculées en utilisant des données GPS transmises et des données du réseau ad-hoc simulé. Nous avons donc implémenté un module d'alerte qui envoie un signal d'alerte aux conducteurs s'il existe un risque. La

figure 4.17(a) représente la distance et 4.17(b) représente le temps à collision entre véhicules. La figure 4.18 représente le signal d’alerte dans le scénario d’insertion d’un véhicule. L’état « 1 » du signal d’alerte, signifie la présence d’un danger et l’état « 0 » signifie le contraire.

Nous avons pour objectif de comparer la simulation avec la vérité terrain et d’analyser le système de communication. Nous avons défini un indice, noté « Ecart par rapport à la Référence  $E_{Ref}$  », qui représente le rapport entre la simulation et la référence réelle. Cet indice est exprimé par l’équation suivante :

$$E_{Ref} = N_{BD}/N_{Ref} \quad (4.8)$$

Où :

$N_{BD}$  représente le Nombre de Bonnes Détections de risque.

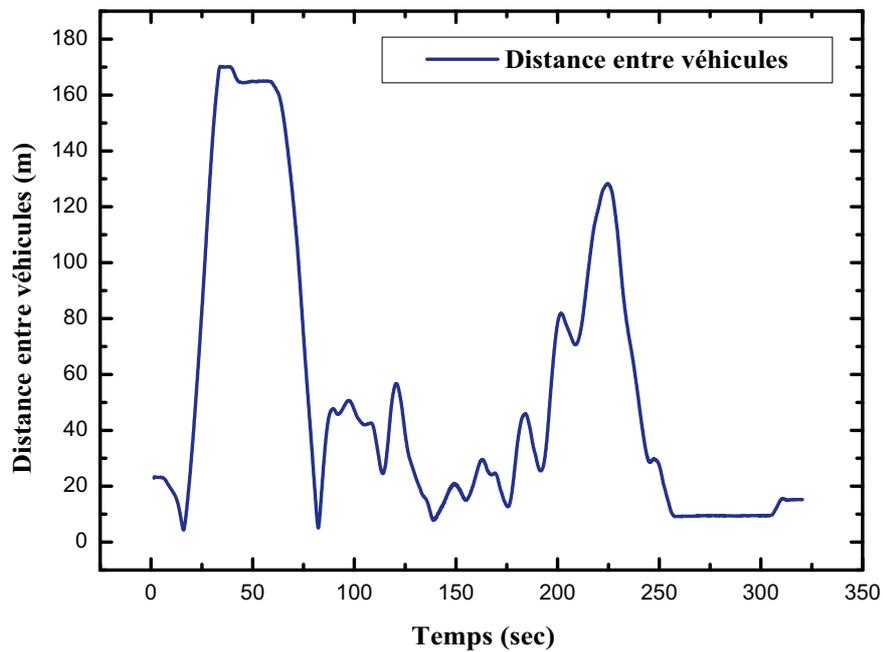
$N_{Ref}$  représente le Nombre de situations de risque issues de la Référence terrain.

Dans ce qui suit, nous évaluons les paramètres du système d’alerte dans les quatre scénarios étudiés en utilisant le protocole AODV. Le tableau 4.4 récapitule les résultats de la simulation pour le platooning, le dépassement d’un véhicule, l’insertion d’un véhicule dans le platooning et le croisement de deux véhicules. Les valeurs données dans ce tableau représentent le nombre de situations d’alerte dans deux situations différentes : vérité terrain et simulée. Nous avons donc calculé l’erreur d’estimation notée dans ce tableau. Cette erreur est un rapport entre le nombre de risque détecté en cas de vérité terrain et celui-ci détecté en cas de simulation.

TABLE 4.4 – Paramètres d’évaluation du système d’alerte prototypé

Scénario de communication (AODV)	$N(Risque)_{Ref}$	$N(Risque)_{Simulation}$	Erreur
<i>Platooning</i>	949	1079	0,14
Dépassement	1035	210	0,8
Insertion	1513	679	0,68
Croisement	1013	393	0,61

La vitesse maximale des véhicules pour nos scénarios est d’environ 40 km/h. Cette vitesse limite est fixée par la réglementation interne à l’INRIA. Nous pouvons remarquer que lorsque



(a) Distance entre véhicules

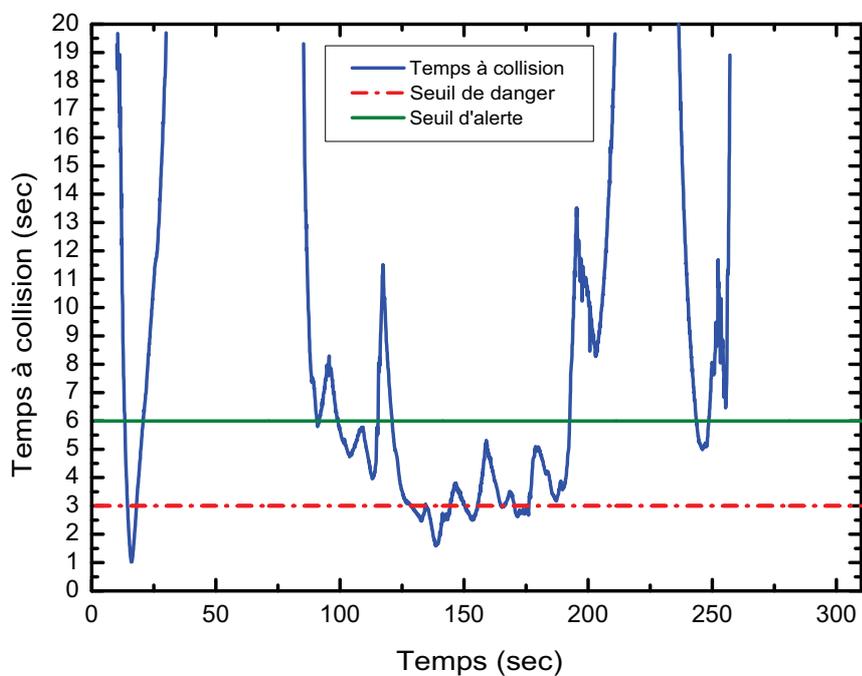
(b) Temps à collision (*TTC*)

FIGURE 4.17 – Distance et temps à collision entre véhicules (Insertion d'un véhicule), (a) et (b)

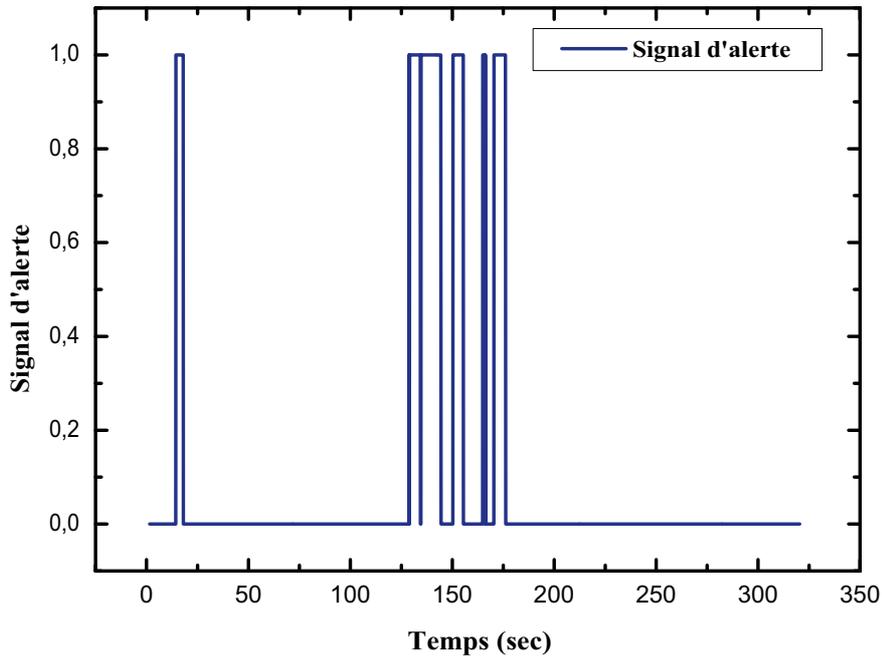


FIGURE 4.18 – Signal d’alerte entre véhicules dans le scénario d’Insertion d’un véhicule

l’on rejoue les scènes routières avec des données réseaux simulées, il se produit de fausses alertes de pré-collision. Ces fausses alertes proviennent d’une mauvaise estimation de l’inter-distance entre les véhicules due à un décalage temporel issu de la transmission des données par le réseau sans fil simulé. Il faut noter que le nombre de situations d’alerte est calculé par l’équation :

$$N(Risque)_{simulation} = N_{BD} + N_{MD} \quad (4.9)$$

où :  $N_{MD}$  représente le Nombre de Mauvaises Détections de risque,  $N(Risque)_{simulation}$  représente le nombre de situations de risque détectées en cas de simulation.

Nous pouvons observer qu’avec chaque protocole nous obtenons un pourcentage différent des pré-collisions. Ceci signifie que la réaction et le fonctionnement des systèmes ADAS n’est pas stable et il change selon le protocole utilisé et aussi selon la vitesse des véhicules. Comme nous pouvons le voir avec l’obtention d’une valeur minimale (22,74% ) du pourcentage de pré-

collision à une vitesse de (15 km/h) si le protocole GPSR a été utilisé. Par contre, on obtient une valeur maximale de (53,082%) en cas d'utilisation du protocole DSR (voir tableau 4.5).

TABLE 4.5 – Le pourcentage des pré-collisions en utilisant le protocole de routage dans le scénario d'intersection

Pourcentage de pré-collision	Vitesse = 15 km/h	Vitesse =30 km/h
GPSR	22,74%	31,65%
AODV	36,08% <sup>8</sup>	56,70%
DSR	53,082 %	76,51%
DSDV	29,77%	40,88%

Comme nous l'avons vu précédemment, le protocole GPSR permet d'avoir un délai de livraison de bout en bout assez faible par rapport à DSR et DSDV. De plus GPSR utilise les informations de positions pour optimiser le chemin des paquets. Ces deux caractéristiques expliquent le bon résultat de ce protocole avec notre application.

#### 4.5.2 Le module d'alerte

Les systèmes ADAS analysent les situations pour chaque véhicule en temps réel à l'aide des capteurs de vision et de distance. Ils avertissent le conducteur et peuvent contrôler certaines fonctions pour éviter l'accident [Marchau 2005], en fournissant des signaux sonores et visuels au conducteur [Laughery 2006]. Certaines de ces fonctionnalités ont été développées dans le projet ARCOS visant à améliorer la sécurité routière. Ce projet a permis de définir que le système de détection devrait avoir un temps de réponse de 0,1 (s) [J.M. Blosseville 2005]. Dans l'analyse des résultats, nous avons pris en compte cette contrainte.

TABLE 4.6 –  $E_{Ref}$  dans le scénario d'insertion du véhicule

Scénario d'insertion du véhicule	AODV	DSR	DSDV	GPSR
Nombre de risques détectés (Référence réelle)	311	311	311	311
Nombre de risques détectés (simulation)	291	193	23	39
Nombre de Bonnes Détections du risque	146	75	7	17
Nombre de Mauvaises Détections du risque	145	118	16	22
Nombre de Non-Détection du risque	165	236	304	294
Ecart par rapport à la référence	0,46	0,24	0,022	0,054

Avec l'intégration des données simulées, plus précisément, les données des paquets envoyés et reçus dans RTMaps, nous avons évalué notre système d'alerte en calculant les valeurs de la distance et du temps à collision. Comme le souligne les données récapitulées dans le tableau 4.6, le nombre de risques détectés par simulation est très proche de celui obtenu sur la vérité terrain en utilisant le protocole AODV. Cependant, ce protocole n'est pas idéal car il a généré (145) mauvaises alertes. En comparant ce protocole avec les autres protocoles étudiés, nous trouvons que son écart par rapport à la référence  $E_{Ref}$  est élevé. Ceci est justifié par le fait que ce protocole avait un taux de livraison de paquets élevé et un délai de bout en bout assez faible.

Les protocoles DSDV et GPSR sont caractérisés par un écart  $E_{Ref}$  très faible mais leur avantage est représenté par un nombre faible de mauvaises détections du risque. Mais avec le protocole GPSR, le taux de livraison de paquets est faible générant ainsi des mauvaises détections du risque qui peuvent influencer le bon fonctionnement des systèmes ADAS. Pour le protocole DSR, le délai de bout en bout est très élevé cela justifie les mauvais résultats de détection du risque.

Ces quatre protocoles ne sont pas adaptés pour des applications ADAS car ils présentent un nombre  $N_{MD}$  très élevé, en notant que ce nombre doit être quasi nul dans les situations idéales.

### 4.5.3 Dégradation des scénarios de communication

Il est communément admis que la simulation permet de développer des scénarios complexes et difficiles à réaliser en pratique. A titre d'exemple, le simulateur ns-2 tient compte des problématiques critiques comme la propagation du signal dans un réseau de communication sans fil. Par contre, ce type de réseaux ne peut pas être parfait à cause des perturbations créées par l'environnement (obstacle, interférences, "*shadowing*"..) d'une part et de la limitation de la portée de communication sans fil d'autre part. Ces perturbations, qui gênent la visibilité directe entre les véhicules, deviennent moins prépondérantes avec la prise en compte des protocoles de routage car ces derniers limitent la bande passante et augmentent le temps de latence.

En se basant sur les scénarios de tests effectués avec les trois véhicules de la Plate-forme LaRA, nous avons réalisé des simulations de réseau sans fil ad-hoc en augmentant le nombre de véhicules progressivement (6, 10 et 18), ceci afin de couvrir d'autres situations plus proches de configurations urbaines. Ces configurations dégradent la communication dans notre réseau

et permettent donc de tester la performance de diverses solutions de routage. Pour réaliser ces nouvelles configurations, nous avons créé des scénarios de communication avec des véhicules immobiles sur le trajet des trois véhicules LaRA. Après avoir étudié l'effet de dégradation sur le réseau des véhicules LaRA, nous avons intégré les résultats de la simulation du réseau de communication dans notre système de prototypage. Dans tous les scénarios, les véhicules ont été utilisés en même temps comme sources et comme destinations d'informations.

En rejouant les données simulées avec RTMaps, nous avons effectué une nouvelle évaluation du système d'alerte en fonction de l'augmentation du nombre de véhicules immobiles. Le tableau 4.8 présente les paramètres utilisés pour l'évaluation après avoir intégré les résultats de la simulation des communications dans notre application ADAS.

TABLE 4.7 – Résultats de simulations en changeant le nombre de véhicules communicants

Paramètres	3 véhicules	6 véhicules	10 véhicules	18 véhicules
Paquets en-voyés	513	3776	7555	14817
Paquets reçus	315	1066	2359	3892
NRL	0, 43	0, 43	0, 3	0, 32

En utilisant le protocole de routage GPSR, nous avons remarqué que la valeur du taux de livraison de paquets a diminué de 50% pour se stabiliser légèrement autour de 26% environ (voir figure 4.19). Nous constatons aussi que le "*Normalized Routing Load*" a subi une augmentation significative comme indiqué sur le tableau 4.7, mais le délai de livraison de paquets a légèrement augmenté (voir figure 4.20). Nous démontrons que cette augmentation est très faible. Cela correspond bien au comportement du protocole GPSR ce qui confirme la robustesse de ce protocole. Nous pouvons noter que chaque point correspondant à une situation particulière est obtenu avec un seul essai et avec une incertitude importante sur le taux de livraison de paquets. Pour résoudre ce problème, un certain nombre de simulations doit être effectué afin de préciser ces résultats.

Nous remarquons que le nombre de risques détectés augmente avec le nombre de véhicules communicants car les véhicules immobiles provoquent des mauvaises détections des risques et ainsi des alertes (voir tableau 4.8).

En analysant les résultats du tableau 4.8, nous remarquons que nous avons une meilleure détection du risque en augmentant le nombre de véhicules communicants. Malgré un taux de

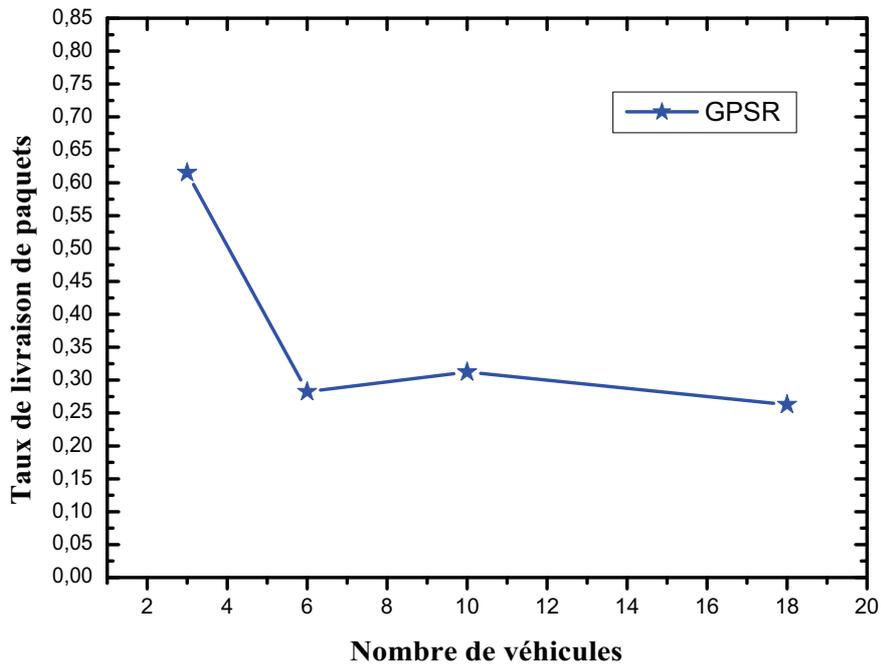


FIGURE 4.19 – Taux de livraison de paquets en fonction du nombre de véhicules

TABLE 4.8 –  $E_{Ref}$  en changeant le nombre de véhicules communicants

Nombre de risques détectés	6 véhicules	10 véhicules	18 véhicules
$N_{Rf}$	41	41	41
$N_{BD}$	15	29	28
$N_{MD}$	11	23	165
$N_{ND}$	26	12	13
$E_{Ref}$	0,365	0,7	0,68

livraison de paquets faible, le nombre de risques détectés augmente. Ce résultat est cohérent avec la réduction du taux de livraison de paquets présenté dans la figure 4.19 car nous avons filtré les paquets envoyés et reçus entre les trois véhicules LaRA. L'ajout de véhicules immobiles dans les scénarios augmente le nombre de paquets ce qui permet d'améliorer les résultats. Le protocole GPSR est le meilleur parmi les quatre protocoles présentés pour les réseaux VANETs. Toutefois il ne faut pas dépasser les réseaux de plus de « 10 » véhicules.

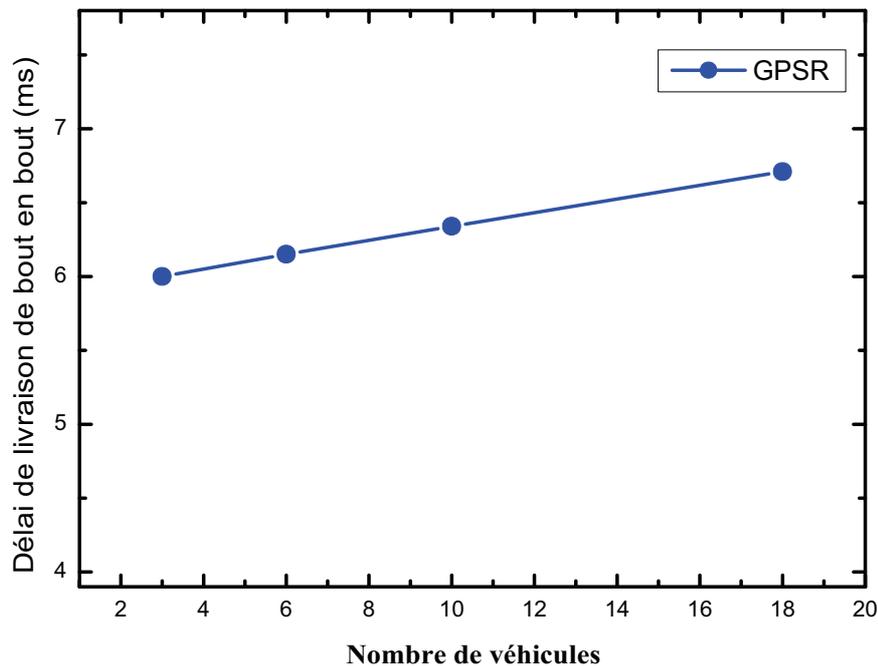


FIGURE 4.20 – Délai de livraison de bout en bout en fonction du nombre de véhicules

## 4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons principalement fourni une méthodologie détaillée de la conception d'un système d'alerte entre véhicules. Nous avons donc présenté la Plate-forme d'expérimentation LaRA sur laquelle nous avons étudié différents scénarios d'acquisition de données avec trois véhicules. Grâce à ces scénarios, nous avons pu acquérir les données en temps réel de la position et de la vitesse pour chaque véhicule. Dans nos expérimentations, un réseau V2V a été établi avec le logiciel Sniffer qui est programmé pour toujours assurer les communications entre les véhicules LaRA. En utilisant le simulateur ns-2, nous avons simulé différents réseaux V2V avec différents protocoles de routage. Enfin, la mise en œuvre d'un système d'alerte coopératif a permis d'évaluer la qualité de la communication en comparant le nombre de pré-collisions détectées entre les deux situations, une de référence et une avec la communication ad-hoc sans fil simulée avec protocole. L'écart entre ces deux dernières situations a été étudié et testé pour les différents scénarios en utilisant les deux logiciels RTMaps et le simulateur ns-2. Cela nous

a permis d'analyser le comportement du système d'alerte coopératif en fonction des situations pertinentes simulées.

# Chapitre 5



# Chapitre 5

## Conclusion et perspectives

### 5.1 Conclusion générale

Malgré toutes les évolutions dans le domaine des systèmes de transport intelligents, il lui manque beaucoup de progrès au niveau de la sécurité routière. Dans les systèmes d'aide à la conduite avancés, les réseaux de véhicules VANETs permettent de réaliser une avancée technologique importante. Grâce à ces réseaux, des systèmes ADAS coopératifs ont été développés pour réaliser des applications d'alerte entre véhicules. Dans cette conclusion, les travaux de recherche menés sur les différentes problématiques de notre projet et les perspectives possibles des travaux futurs sont résumés.

### 5.2 Bilan des travaux réalisés et des résultats obtenus

Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés aux problématiques de communications liés aux systèmes d'aide à la conduite avancés ADAS. L'objectif principal consiste à proposer un nouveau système d'aide à la conduite avancé, coopératif, basé sur les communications entre véhicules et adapté aux caractéristiques de réseaux de véhicules et à ses applications d'alerte. Ceci permet de réaliser un système d'alerte qui peut envoyer un signal d'alerte et estimer le nombre de situations du risque de collision.

Dans un premier temps, nous avons effectué un état de l'art sur les principaux concepts, spécificités et challenges liés aux systèmes ADAS et aux réseaux de véhicules. Le système

de communication entre véhicules a été détaillé en présentant les différentes architectures de réseaux VANETs : V2V, V2I et hybrides. Nous avons pu apporter une vue d'ensemble des algorithmes de routage existants et de ceux que nous avons ensuite intégrés dans les simulations. Ceci nous a permis d'avoir un aperçu général sur l'état actuel des réseaux sans fil pour bien comprendre le fonctionnement et les mécanismes des réseaux véhiculaires intégrés dans les systèmes ADAS.

Dans ce contexte, notre recherche a abouti à la définition d'un système d'alerte coopératif. L'originalité de notre méthode consiste à réaliser un nouveau prototype des systèmes ADAS coopératifs basé sur les communications entre véhicules. Dans cette méthode nous avons combiné les données issues de plusieurs modules d'acquisition tels que : le module de vision, de géolocalisation GPS et de communication V2V. Nous avons utilisé l'approche de coopération entre deux systèmes logiciels (RTMaps et ns-2) afin de développer ce nouveau prototype et de réaliser ensuite l'application d'alerte coopérative. Le système de vision utilisé représente un modèle sténopé pour calculer la distance intervéhiculaire. Le système de géolocalisation a réalisé trois phases d'expérimentation nécessaires pour avoir une base de données utilisable. La première phase est l'acquisition de données réelles reliées à la position et à la vitesse des véhicules LaRAs. La deuxième phase est de rejouer les données pour enregistrer les données nécessaires pour notre conception. La troisième phase est le traitement de données, la transformation de coordonnées et enfin la mise en forme de données pour qu'elles soient compatibles à intégrer dans ns-2. Le système de localisation GPS souffre de plusieurs problèmes comme l'absence du signal et l'imprécision en milieu urbain dû au phénomène de masquage des satellites et de multitrajets (immeubles, tunnels,...).

Nous avons développé le modèle de simulation nécessaire à notre propre application pour l'intégrer ensuite au nouveau prototype implémenté dans RTMaps. Une étude de ce modèle de simulation a été effectuée à l'aide des données réelles et des protocoles de routage avec le calcul de plusieurs paramètres qui mesurent la performance des protocoles. Grâce à la simulation, nous avons constaté que les protocoles AODV et GPSR sont caractérisés par une meilleure performance. Par contre, les deux protocoles DSDV et GPSR donnent un nombre faible de mauvaises détections du risque dans l'ensemble de systèmes d'alerte coopératifs. Le protocole AODV donne une meilleure estimation de détection pour le nombre de risque de collision. Ceci nous amène à considérer que les quatre protocoles étudiés présentent toujours de mauvaises

détections du risque, et ils ne seront alors pas efficaces pour les applications d'alerte entre véhicules.

Une extension de ce modèle par une augmentation du nombre de véhicules communicants sur le trajet de déplacement des trois véhicules expérimentaux LaRA a été proposée. L'étape de la simulation du protocole avec les données réelles a été suivie par l'intégration des résultats dans le nouveau prototype développé sous RTMaps. Ceci avait pour objectif de développer un système d'alerte coopératif entre les véhicules et de montrer dans quelle mesure la simulation V2V s'approche de l'expérimentation. Nous avons évalué ce système en étudiant plusieurs paramètres importants tels que la distance entre véhicules et le temps à collision.

Enfin, la mise en place du système d'alerte a permis de tester le fonctionnement du système de simulation et de connaître son approche de réalité. En effet, l'interaction de simulateur dans le système de prototypage en temps réel peut estimer le nombre de bonnes et mauvaises détections de risque en cas de simulation. Nous avons finalement montré les résultats obtenus correspondant aux différentes acquisitions et différents scénarios que nous avons réalisés au parking de l'INRIA Rocquencourt.

## 5.3 Perspectives

Dans l'état du travail présenté, nous pourrions approfondir cette étude et proposer quelques perspectives afin de renforcer les résultats obtenus. Pour améliorer notre système d'alerte coopératif, certains points nécessitent d'être renforcés en commençant avec l'enrichissement de la base de données du trafic utilisé dans le simulateur ns-2. De plus, il serait utile d'effectuer des scénarios dans d'autres environnements que l'urbain (autoroute, ville). Nous avons réalisé la collaboration entre ns-2 et RTMaps lorsque les deux logiciels fonctionnent en mode "procédure séquentiel, en temps différés". Comme perspective efficace, nous proposons de développer un bloc qui fait le traitement de données pour qu'elles soient prêtes à être intégrées dans ns-2 et de programmer ensuite un composant qui effectuera l'interface entre ns-2 et RTMaps en temps réel (c'est-à-dire pour que les deux logiciels fonctionnent en mode "Online").

En regardant les résultats dans la partie de simulations sous ns-2, plusieurs perspectives seront proposées au niveau du modèle de communication. Un défi majeur dans la conception des protocoles de routage pour les réseaux VANETs est d'améliorer la fiabilité des protocoles et

de réduire le délai de livraison des paquets ainsi que le nombre de retransmission des paquets. Une perspective peut-être intéressante est de simuler d'autres protocoles de routage développés spécialement pour VANETs. Logiquement, ces protocoles doivent atteindre toute leur performance lorsqu'ils sont simulés en utilisant les traces réelles de mouvement des véhicules. Dans l'avenir, nous devons utiliser des protocoles de routage qui fonctionnent mieux, avec des modèles de mobilité plus précis et reflètent complètement la réalité du trafic. Pour bien prédire les mouvements des véhicules, nous devons avoir des types de GPS précis. Le problème de notre système est qu'il utilise les données de GPS qui ne sont pas disponibles tout le temps et qui sont parfois peu fiables. Pour cette raison, nous tentons de chercher une solution à cette problématique assez importante dans le domaine des communication et des systèmes d'aide à la conduite. Nous proposons d'utiliser les techniques de filtrages tels que Kalman afin d'avoir des données plus précises.

Une autre perspective est d'intégrer dans les simulations le module de la norme IEEE 802.11P qui a été développé pour les applications VANETs. Le modèle de propagation utilisé dans les scénarios est un modèle loin d'être réaliste. D'une part, il faut donc chercher un modèle de propagation du canal (modèle de couche physique) plus réaliste pour les VANETs. Pour ceci, une simulation plus précise pourrait être effectuée par l'extension et l'intégration d'un modèle d'ombrage. Au niveau du système de vision, il serait intéressant d'étudier la possibilité de localiser le véhicule dans le repère caméra. La méthode sera effectuée par la fusion des informations issues de la perception (GPS, vision) et de la communication dans l'ensemble de notre système de prototypage. La première perspective de nos travaux est d'augmenter la robustesse de notre système, en réalisant plus d'essais pour renforcer la base de données et tester plus de scénarios et d'analyser les problèmes rencontrés. Une dernière perspective est de faire les simulations sur ns3 qui est plus adapté aux réseaux VANETs.

# Chapitre 6



# Chapitre 6

## Annexe

### 6.1 Les paramètres de simulation

TABLE 6.1 – Avantages et inconvénients des protocoles de routage

Ad-hoc Routing	DSDV, DSR, AODV, GPSR	""
ProType	Propagation/TwoRayGround, propagation/shadowing	""
anType	Antenna/OmniAntenna	" "
channel	Channel/WirelessChannel	""
TopoInstance	<topology file>	
MobileIP	ON,OFF	OFF
rxPower	<value in watt>	
txPower	<value in watt>	
agentTrace	ON, OFF	
routerTrace	ON, OFF	
macTrace	ON, OFF	
movementTrace	ON, OFF	

### 6.1.1 Les paramètres statistiques

La distribution des erreurs de position horizontale peut être modélisée par une distribution de Rayleigh. La densité de probabilité est donnée par :

$$f(x) = \frac{2x}{hRMS} \exp \left[ - \left( \frac{x}{hRMS} \right)^2 \right] \quad (6.1)$$

$$hMEAN = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} dh [i] \quad (6.2)$$

$$hSTD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{i=N} (dh [i] - hMEAN)^2} \quad (6.3)$$

$$hRMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} dh [i]^2} = \sqrt{hMEAN^2 + STD^2} \quad (6.4)$$

### 6.1.2 La moyenne théorique d'une distribution des erreurs de position horizontale

$$MEAN = \frac{\sqrt{\pi}}{2} hRMS \cong 0.886 \times hRMS \quad (6.5)$$

### 6.1.3 L'écart-type théorique

$$STD = \frac{\sqrt{4-\pi}}{4} hRMS \cong 0.214 \times hRMS \quad (6.6)$$

TABLE 6.2 – Caractéristiques du récepteur BU-353 de GlobalSat

Puce GPS	SiRF Star III e/LP
Fréquence	L1, 1575, 42 MHz
Sensibilité	-159 dBm
Protocole	NMEA 0183 (4800 bauds)
Précision 2D	RMS = 5 m avec WAAS active et 10 m sans WAAS
Fréquence d'acquisition	1 Hz



FIGURE 6.1 – Terrain d'expérimentation sur la carte



FIGURE 6.2 – Photographie d'un récepteur BU-353 de GlobalStat



FIGURE 6.3 – Carte WiFi D-Link dans les véhicules LaRA

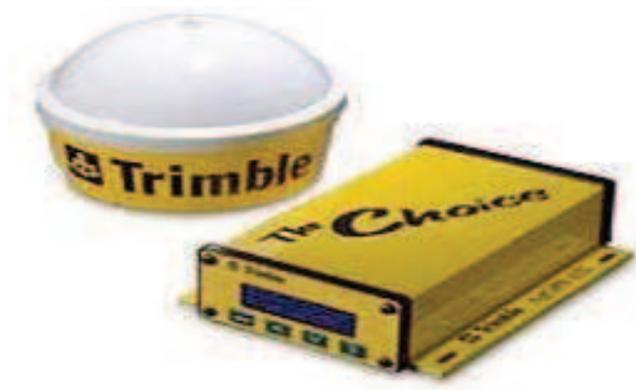


FIGURE 6.4 – The DGPS Trimble AG 131

# Bibliographie

- [Abuhadrous 2005] I. Abuhadrous. *Système embarqué temps réel de localisation et de modélisation 3D par fusion multi-capteur*. PHD thesis, Robotics Center - Ecole des Mines Paris, pages 103–104, 2005. (Cité en page 17.)
- [Ammoun 2007a] S. Ammoun. *Contribution des communications intervéhiculaires pour la conception de systèmes avancés d'aide à la conduite*. Mines Paris, Paris Tech, Paris, 2007. (Cité en pages vi, 22, 23, 52, 74, 76 et 97.)
- [Ammoun 2007b] S. Ammoun, F. Nashashibi et C. Laurgeau. *Crossroads risk assessment using GPS and inter-vehicle communications*. Intelligent Transport Systems, IET, vol. 1, no. 2, pages 95–101, 2007. (Cité en pages 17, 25 et 96.)
- [Ammoun 2009] S. Ammoun et F. Nashashibi. *Real time trajectory prediction for collision risk estimation between vehicles*. In IEEE 5th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), pages 417–422. IEEE, 2009. (Cité en pages vi et 96.)
- [Ammoun 2010] S. Ammoun et F. Nashashibi. *Design and efficiency measurement of cooperative driver assistance system based on wireless communication devices*. Transportation Research Part C : Emerging Technologies, vol. 18, no. 3, pages 408–428, 2010. (Cité en pages 23 et 96.)
- [Andreone 2002] L. Andreone, F. Tango, U. Scheunert, H. Cramer, G. Wanielik et A. Amditis. *A new driving supporting system, integrating an infrared camera and an anti-collision micro-wave radar : the EUCLIDE project*. In Intelligent Vehicle Symposium, volume 2, pages 519 – 526. IEEE, Versailles, France, 2002. (Cité en page 22.)

- [Aschenbruck 2010] N. Aschenbruck, R. Ernst, E. Gerhards-Padilla et M. Schwamborn. *Bonn-Motion : a mobility scenario generation and analysis tool*. balde, pages 1–10, 2010. (Cité en page 63.)
- [Avila 2005] A. Avila, G. Korkmaz, Y. Liu, H. Teh, E. Ekici, F. Ozguner, U. Ozguner, K. Redmill, O. Takeshita, K. Tokuda et al. *A complete simulator architecture for inter-vehicle communication intersection warning systems*. In Proceedings on Intelligent Transportation Systems,, pages 461–466. IEEE, 2005. (Cité en page 24.)
- [Bai 2003] F. Bai, N. Sadagopan et A. Helmy. *The IMPORTANT framework for analyzing the Impact of Mobility on Performance Of Routing protocols for Adhoc Networks*. Ad Hoc Networks, vol. 1, no. 4, pages 383–403, 2003. (Cité en pages 61 et 63.)
- [Baldessari.R 2007] Deegener.M Festag. A Franz.W Kellum. C.C Baldessari.R Bódeker. *Bet al. Car-2-car communication consortium-manifesto*. 2007. (Cité en page 38.)
- [Bishop 2005] R. Bishop et Ebooks Corporation. *Intelligent vehicle technology and trends*. Artech House, 2005. (Cité en page 12.)
- [Broggi 2008] A. Broggi, A. Cappalunga, S. Cattani et P. Zani. *Lateral vehicles detection using monocular high resolution cameras on TerraMax TM*. In Intelligent Vehicles Symposium, IEEE, Eindhoven, Netherlands, pages 1143–1148. IEEE, 2008. (Cité en page 17.)
- [Cabani 2006] I. Cabani, G. Toulminet et A. Benschair. *A color stereo vision system for extraction of 3d edges of obstacle*. In Intelligent Transportation Systems Conference, ITSC'06. IEEE, pages 307–312. IEEE, 2006. (Cité en page 18.)
- [Camp 2002] T. Camp, J. Boleng et V. Davies. *A survey of mobility models for ad hoc network research*. Wireless communications and mobile computing, vol. 2, no. 5, pages 483–502, 2002. (Cité en page 61.)
- [Carona 2010] D. Carona, A. Serrador, P. Mar, R. Abreu, N. Ferreira, T. Meireles, J. Matos et J. Lopes. *A 802.11 p prototype implementation*. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), pages 1116–1121. IEEE, 2010. (Cité en page 30.)
- [Chakeres 2005] I.D. Chakeres et E.M. Belding-Royer. *AODV implementation design and performance evaluation*. International Journal of Wireless and Mobile Computing (IJWMC), vol. 2, no. 3, 2005. (Cité en page 42.)

- [Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé, J 2006] Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé, J. *Détection de pluie sur pare brise par caméra multi fonction*. no. EP1860426, 2006. (Cité en page 13.)
- [Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé. J 2007] Challita, G. Bensrhair, A. Rebut, J and Lelevé. J. *Rain detection on windscreen by camera multi function*. no. 2007-0267993, 2007. (Cité en pages 13 et 19.)
- [Challita 2009a] G Challita. *Amélioration du positionnement des véhicules communicants utilisant des récepteurs GPS et des systèmes de vision*. PhD thesis, 2009. (Cité en pages 19 et 20.)
- [Challita 2009b] G. Challita, S. Mousset, F. Nashashibi et A. Bensrhair. *Particle filters for accurate localization of communicant vehicles using GPS and vision systems*. In IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA), pages 238–242. IEEE, 2009. (Cité en pages 17 et 77.)
- [Chevreuil 2002] M. Chevreuil. *IVHW : an inter-vehicle hazard warning system concept within the DEUFRAKO program*. e-Safety, Lyon, France, pages 16–18, 2002. (Cité en page 37.)
- [Choffnes 2005] D.R. Choffnes et F.E. Bustamante. *An integrated mobility and traffic model for vehicular wireless networks*. In Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, pages 69–78. ACM, 2005. (Cité en page 63.)
- [Clausen 2003] T. Clausen, P. Jacquet, C. Adjih, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum et L. Viennot. *Optimized link state routing protocol (OLSR)*. IETF Request for Comments : RFC 3626., 2003. (Cité en page 42.)
- [CVI 2006] *The Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems (CVIS)*, [www.cvisproject.org](http://www.cvisproject.org), 2006. (Cité en page 38.)
- [Demmel 2010] S. Demmel, A. Rakotonirainy et D. Gruyer. *Crash Risk Assessment with Cooperative Systems*. 2010. (Cité en pages 22 et 36.)
- [Desbrandes 1993] F. Desbrandes, S. Bertolotti et L. Dunand. *Opnet 2.4 : an environment for communication network modeling and simulation*. In Proceedings of the European Simulation Symposium, pages 609–614, 1993. (Cité en page 46.)

- [Discant 2008] A. Discant, A. Rogozan, C. Rusu et A. Bensrhair. *Sensors for obstacle detection-a survey*. In 30th International Spring Seminar on Electronics Technology, pages 100–105. IEEE, 2008. (Cité en page 22.)
- [Dogan 2005] A. Dogan, G. Korkmaz, Y. Liu, F. Ozguner, U. Ozguner, K. Redmill, O. Takeshita et K. Tokuda. *Evaluation of intersection collision warning system using an inter-vehicle communication simulator*. In In Proceedings of the 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, pages 1103–1108. IEEE, 2005. (Cité en page 24.)
- [DRi 1999] <http://www.ist-drive.org/index2.html>, 1999. (Cité en page 37.)
- [Ducourthial 2009] B. Ducourthial et F. El Ali. *Architecture Pour Communication Véhicules-Infrastructure*. In Proceeding of CFIP, Strasbourg-France, 2009. (Cité en page 34.)
- [Eichler 2007] S. Eichler. *Performance evaluation of the IEEE 802.11 p WAVE communication standard*. In 66th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC- Fall., pages 2199–2203. IEEE, 2007. (Cité en page 39.)
- [El Ansari 2008] M. El Ansari, S. Mousset et A. Bensrhair. *A new stereo matching approach for real-time road obstacle detection for situations with deteriorated visibility*. In IEEE, Intelligent Vehicles Symposium, pages 355–360. IEEE, 2008. (Cité en page 18.)
- [Ferlis 2001] RA Ferlis. *Infrastructure intersection collision avoidance*. In Intersection Safety Conference, Milwaukee, WI, 2001. (Cité en page 24.)
- [Festag 2004] A. Festag, H. Fußler, H. Hartenstein, A. Sarma et R. Schmitz. *Fleetnet : Bringing car-to-car communication into the real world*. In proceedings of the 11th World Congress on ITS, Nagoya, Japan, vol. 4, no. L15, page 16, 2004. (Cité en page 36.)
- [Friis 1946] H.T. Friis. *A note on a simple transmission formula*. proc. IRE, vol. 34, no. 5, pages 254–256, 1946. (Cité en page 58.)
- [Funderburg 2004] K.A. Funderburg. *Update on intelligent vehicles and intersections*. Public roads, vol. 67, no. 4, pages 34–39, 2004. (Cité en page 24.)
- [Füßler 2002] H. Füßler, M. Mauve, H. Hartenstein, M. Käsemann et D. Vollmer. *A comparison of routing strategies for vehicular ad hoc networks*. Department of Computer Science, University of Mannheim, Tech. Rep. TR-02-003, 2002. (Cité en page 43.)

- [Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda 2011] Raúl Aquino Santos Gabriel Alejandro Galaviz Mosqueda *et al.* Survey on multi-hop vehicular ad hoc networks under ieee 802.16 technology. InTech, Janeza Trdine 9, 51000 Rijeka, Croatia, 2011. (Cité en page 33.)
- [Gast 2005] M. Gast. 802.11 wireless networks : the definitive guide. O'Reilly Media, 2005. (Cité en page 29.)
- [Grégoire-Girard 2008] P.L. Grégoire-Girard. Communication inter-véhicules et route-à-véhicule : apprentissage de la communication inter-véhicules. Université Laval, 2008. (Cité en page 11.)
- [Greis 2007] M. Greis. *Tutorial on Ns-2*. Ns-2 the Colloborative Effort of VINT Project by UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC.< URL : <http://www.isi.edu/nsnam/ns/tutorial/index.html>, 2007. (Cité en page 54.)
- [Gukhool 2010] B.S. Gukhool et S. Cherkaoui. *Handling handovers in vehicular communications using an IEEE 802.11 p model in NS-2*. International Journal of Ultra Wideband Communications and Systems, vol. 1, no. 3, pages 159–168, 2010. (Cité en page 30.)
- [Guo 2009] H. Guo. Automotive Informatics and Communicative Systems : Principles in vehicular networks and Data exchange. Information Science Reference, 2009. (Cité en pages v, 12, 22, 35, 42, 43, 92 et 94.)
- [Hafeez 2009] K.A. Hafeez, L. Zhao, Z. Liao et B.N.W. Ma. *The Optimal Radio Propagation Model in VANET*. In 2009 Fourth International Conference on Systems and Networks Communications, pages 6–11. IEEE, 2009. (Cité en page 70.)
- [Härri 2005] J. Härri, F. Filali et C. Bonnet. *A framework for mobility models generation and its application to inter-vehicular networks*. In International Conference on Wireless Networks, Communications and Mobile Computing,, volume 1, pages 42–47. IEEE, 2005. (Cité en page 61.)
- [Härri 2006] J. Härri, F. Filali, C. Bonnet et M. Fiore. *VanetMobiSim : generating realistic mobility patterns for VANETs*. In Proceedings of the 3rd international workshop on vehicular ad hoc networks, pages 96–97. ACM, 2006. (Cité en page 63.)
- [Helbing 2001] D. Helbing. *Traffic and related self-driven many-particle systems*. Reviews of modern physics, vol. 73, no. 4, pages 1067–1141, 2001. (Cité en page 61.)

- [Hofmann-Wellenhof 1993] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger et J. Collins. *Global positioning System. Theory and Practice*. Springer, Wien (Austria), 347 p, ISBN 3-211-82477-4, Price DM 79.00. (USA)., vol. 1, 1993. (Cité en page 16.)
- [Hofmann-Wellenhof 1994] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger et J. Collins. *GPS : Theory and practice*. Springer, 1994. (Cité en page 14.)
- [Huang 2009] C.M. Huang, C. Huang et Y. Chang. *Telematics communication technologies and vehicular networks : wireless architectures and applications*. Information Science Reference-Imprint of : IGI Publishing Hershey, PA, 2009. (Cité en pages v et 45.)
- [Hui 2005] F. Hui. *Experimental characterization of communications in vehicular ad hoc network*. PhD thesis, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, 2005. (Cité en page 40.)
- [Int 2000] <http://www.Intempora.com>, 2000. (Cité en page 50.)
- [Jaap 2005] S. Jaap, M. Bechler et L. Wolf. *Evaluation of routing protocols for vehicular ad hoc networks in typical road traffic scenarios*. 2005. (Cité en page 42.)
- [Jarupan 2008] B. Jarupan, Y. Balcioglu, E. Ekici, F. Ozguner et U. Ozguner. *An Integrated Wireless Intersection Simulator for collision warning systems in vehicular networks*. In IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety, ICVES, pages 340–345. IEEE, 2008. (Cité en page 63.)
- [Jerbi 2008a] M. Jerbi. *Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : routage et geocast basés sur les intersections*. PhD thesis, 2008. (Cité en pages v, vi, 40, 41, 43 et 59.)
- [Jerbi 2008b] M. Jerbi, P. Marlier et S.M. Senouci. *Experimental assessment of V2V and I2V communications*. In IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, MASS, pages 1–6. IEEE, 2008. (Cité en page 34.)
- [Jiang 2008] D. Jiang et L. Delgrossi. *IEEE 802.11 p : Towards an international standard for wireless access in vehicular environments*. In Vehicular Technology Conference, VTC-Spring, pages 2036–2040. IEEE, 2008. (Cité en page 38.)
- [J.M. Blosseville 2005] R. Labayrade J. Douret C. Royere C. Levernois J.M. Blosseville et D. Dominois. *Assessment of ADAS in ARCOS, method and results*. 2005. (Cité en page 101.)

- [JOBIN 2010] M. JOBIN. *Mobility Model for Vehicular Ad Hoc Networks : A Survey and Taxonomy*. 2010. (Cité en page 62.)
- [Johnson 2001] D.B. Johnson, D.A. Maltz, J. Brochet *al.* *DSR : The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks*. *Ad hoc networking*, vol. 5, pages 139–172, 2001. (Cité en pages 42 et 61.)
- [Kaisser 2010] F. Kaisser. *Communications dans les réseaux fortement dynamiques*. PhD thesis, 2010. (Cité en pages 45 et 62.)
- [Kaplan 1996] E.D. Kaplan *et al.* *Understanding gps, principles and applications*. boston : Artech house. Inc, 1996. (Cité en page 16.)
- [Kaplan 2006] E. Kaplan et C. Hegarty. *Understanding GPS : Principles and Applications Second Edition*. Artech House, 2006. (Cité en pages 14 et 16.)
- [Karnadi 2007] F.K. Karnadi, Z.H. Mo et K. Lan. *Rapid generation of realistic mobility models for vanet*. In *Wireless Communications and Networking Conference,(WCNC)*, pages 2506–2511. IEEE, 2007. (Cité en pages 62 et 63.)
- [Karp 2000] B. Karp et HT Kung. *GPSR : greedy perimeter stateless routing for wireless networks*. In *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking, ACM/IEEE MOBICOM'00, Boston, USA*, pages 243–254. ACM, 2000. (Cité en pages 42 et 44.)
- [Khaled 2005a] Y. Khaled, B. Ducourthial et M. Shawky. *IEEE 802.11 performances for inter-vehicle communication networks*. In *61st Vehicular Technology Conference, VTC-Spring*, volume 5, pages 2925–2929. IEEE, 2005. (Cité en page 29.)
- [KHALED 2005b] Y. KHALED, B. DUCOURTHIAL et M. SHAWKY. *Performances de IEEE 802.11 pour la communication dans un convoi de véhicules*. *AlgoTel 2005 Septiemes rencontres francophones sur les Aspects Algorithmiques des Telecommunications*, page 99, 2005. (Cité en page 76.)
- [Khaled 2007] Y. Khaled. *Contributions aux communications dans les réseaux de véhicules : application à la pré-visibilité de route*. PhD thesis, 2007. (Cité en pages 29 et 39.)
- [LABIOD 2006] H. LABIOD. *Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteurs sans fil (Traité IC2, série Réseaux et télécoms)*. 2006. (Cité en page 32.)

- [Langley 2000] R.B. Langley. *The Evolution of the GPS Receiver*. GPS WORLD, page 55, 2000. (Cité en page 14.)
- [LaR 2003] <http://www-roc.inria.fr/imara/lara2>, 2003. (Cité en page 74.)
- [Laughery 2006] K.R. Laughery. *Safety communications : Warnings*. Applied ergonomics, vol. 37, no. 4, pages 467–478, 2006. (Cité en page 101.)
- [Lefée 2004] D. Lefée, S. Mousset, M. Bertozzi et A. Bensrhair. *Cooperation of passive vision systems in detection and tracking of pedestrians*. In Intelligent Vehicles Symposium (IV), pages 768–773. IEEE, 2004. (Cité en page 13.)
- [Li 2008] Y. Li, G. Toulminet et A. Bensrhair. *Vehicle detection based on the stereo concept of (axis, width, disparity) symmetry map*. In 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, ITSC, pages 778–783. IEEE, 2008. (Cité en page 18.)
- [Lochert 2005] C. Lochert, M. Mauve, H. Fussler et H. Hartenstein. *Geographic routing in city scenarios*. SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev, vol. 9, no. 1, pages 69–72, 2005. (Cité en page 44.)
- [Malek 2011] M. Malek. *Modélisation GPS*. LITIS, 2011. (Cité en page 79.)
- [Malys 1994] S. Malys et J. Slater. *Maintenance and enhancement of the World Geodetic System 1984*. In Proceedings of the 7th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS 1994), pages 17–24, 1994. (Cité en page 16.)
- [Mangharam 2005] R. Mangharam, D.S. Weller, D.D. Stancil, R. Rajkumar et J.S. Parikh. *GrooveSim : a topography-accurate simulator for geographic routing in vehicular networks*. In Proceedings of the 2nd ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks, pages 59–68. ACM, 2005. (Cité en page 63.)
- [Marchau 2005] V. Marchau, R. Van Der Heijden et EJE Molin. *Desirability of advanced driver assistance from road safety perspective : the case of ISA*. Safety Science, vol. 43, no. 1, pages 11–27, 2005. (Cité en page 101.)
- [Marlier 2007] P. Marlier. *Communications optimisées dans un réseau véhiculaire ad hoc multi sauts*. Rapport de stage TN10/Mémoire de Master ST02, Université de Technologie de Compiègne- France Télécom R&D, 2007. (Cité en page 29.)

- [Martinez 2009] F.J. Martinez, C.K. Toh, J.C. Cano, C.T. Calafate et P. Manzoni. *Realistic radio propagation models (RPMs) for VANET simulations*. In Wireless Communications and Networking Conference, WCNC, pages 1–6. IEEE, 2009. (Cité en page 70.)
- [Miché 1995] P. Miché et R. Debrie. *Fast and self-adaptive image segmentation using extended declivity*. Annals of Telecommunications, vol. 50, no. 3, pages 401–410, 1995. (Cité en page 18.)
- [Miller 2002] R. Miller et Q. Huang. *An adaptive peer-to-peer collision warning system*. In IEEE Vehicular Technology Conference, volume 1, pages 317–321. Citeseer, 2002. (Cité en page 24.)
- [Morsink 2003] P. Morsink, R. Hallouzi, I. Dagli, C. Cseh, L. Schäfers, M. Nelisse et D. de Bruin. *Cartalk 2000 : Development of a cooperative adas based on vehicle-to-vehicle communication*. Intelligent Transport Systems and Services, 2003. (Cité en page 37.)
- [Nashashibi 2000] F. Nashashibi. *RT-MAPS : A framework for prototyping automotive multi-sensor applications*. In Intelligent vehicles symposium, pages 99–103, 2000. (Cité en page 74.)
- [Naumov 2006] V. Naumov, R. Baumann et T. Gross. *An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces*. In MobiHoc, volume 6, pages 108–119. Citeseer, 2006. (Cité en page 62.)
- [Papadimitratos 2008] P. Papadimitratos, L. Buttyan, T. Holczer, E. Schoch, J. Freudiger, M. Raya, Z. Ma, F. Kargl, A. Kung et J.P. Hubaux. *Secure vehicular communication systems : design and architecture*. Communications Magazine, IEEE, vol. 46, no. 11, pages 100–109, 2008. (Cité en page 38.)
- [Pat 1986] <http://www.path.berkeley.edu/>, 1986. (Cité en page 36.)
- [Piorkowski 2008] M. Piorkowski, M. Raya, A.L. Lugo, P. Papadimitratos, M. Grossglauser et J.P. Hubaux. *TraNS : realistic joint traffic and network simulator for VANETs*. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, vol. 12, no. 1, pages 31–33, 2008. (Cité en page 63.)
- [Rappaport 1996] T.S. Rappaport *et al.* Wireless communications : principles and practice, volume 207. Prentice Hall PTR New Jersey, 1996. (Cité en page 59.)

- [Rigas 2008] G. Rigas, P. Bougia, D.I. Fotiadis, C.D. Katsis et A. Koutlas. *IWAY : Towards highway vehicle-2-vehicle communication and driver support*. In IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC), pages 3376–3381. IEEE, 2008. (Cité en page 39.)
- [Saf 2006] [http ://www.safespot-eu.org/pages/page.php](http://www.safespot-eu.org/pages/page.php), 2006. (Cité en pages 23 et 38.)
- [Saha 2004] A.K. Saha et D.B. Johnson. *Modeling mobility for vehicular ad-hoc networks*. In Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad -hoc networks, pages 91–92. ACM, 2004. (Cité en page 62.)
- [Salim 2007] F.D. Salim, S.W. Loke, A. Rakotonirainy, B. Srinivasan et S. Krishnaswamy. *Collision pattern modeling and real-time collision detection at road intersections*. In Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC),, pages 161–166. IEEE, 2007. (Cité en page 24.)
- [Senouci 2007] S.M. Senouci et T. Rasheed. *Modified Location-Aided Routing Protocols for Control Overhead Reduction in Mobile Ad Hoc Networks*. Network Control and Engineering for QoS, Security and Mobility, IV, pages 137–146, 2007. (Cité en pages 25 et 43.)
- [Seskar 2002] I. Seskar, S.V. Maric, J. Holtzman et J. Wasserman. *Rate of location area updates in cellular systems*. In Vehicular Technology Conference, 1992, IEEE 42nd, pages 694–697. IEEE, 2002. (Cité en page 63.)
- [Simulator 2000] Q.N. Simulator. *Scalable Network Technologies*, [www.qualnet.com](http://www.qualnet.com). 2000. (Cité en pages 46 et 63.)
- [Singh 2002] J.P. Singh, N. Bambos, B. Srinivasan et D. Clawin. *Wireless LAN performance under varied stress conditions in vehicular traffic scenarios*. In Proceedings of 56th IEEE Vehicular Technology Conference, VTC-Fall, volume 2, pages 743–747. IEEE, 2002. (Cité en pages 40 et 61.)
- [Stepanov 2010] I. Stepanov. *CANU Mobility Simulation Environment (CanuMobiSim)*, 2010. (Cité en page 63.)
- [Steux 2001] B. Steux et C. Laurgeau. *RT Maps, un environnement logiciel dédié à la conception d'applications embarquées temps-réel. Utilisation pour la détection automatique de*

- véhicules par fusion radar-vision= RT Maps, a software framework for prototyping real-time embedded systems. Application to the automatic detection of vehicles by radar and vision data fusion.* 2001. (Cité en page 51.)
- [Steux 2002] B. Steux, C. Laugeau, L. Salesse et D. Wautier. *Fade : A vehicle detection and tracking system featuring monocular color vision and radar data fusion.* In Intelligent Vehicle Symposium, IEEE, volume 2, pages 632–639. IEEE, 2002. (Cité en page 22.)
- [Stubbs 2003] K. Stubbs, H. Arumugam, O. Masoud, C. McMillen, H. Veeraraghavan, R. Janardan et N. Papanikolopoulos. *A Real-Time Collision Warning System for Intersections.* In 13th Annual Meeting on Intelligent Transportation Systems America, Minneapolis, MN, USA, 2003. (Cité en page 24.)
- [Tillema 2006] G. Tillema. *Merging into a Demo 2000 Platoon.* Report, August, 2006. (Cité en page 36.)
- [Toulminet 2006] G. Toulminet, M. Bertozzi, S. Mousset, A. Bensrhair et A. Broggi. *Vehicle detection by means of stereo vision-based obstacles features extraction and monocular pattern analysis.* IEEE Transactions on Image Processing, vol. 15, no. 8, pages 2364–2375, 2006. (Cité en page 21.)
- [Toulminet 2008] G. Toulminet, J. Boussuge et C. Laugeau. *Comparative synthesis of the 3 main European projects dealing with Cooperative Systems (CVIS, SAFESPOT and COOPERS) and description of COOPERS Demonstration Site 4.* In 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pages 809–814. IEEE, 2008. (Cité en pages 23 et 38.)
- [Treiber 2000] M. Treiber, A. Hennecke et D. Helbing. *Congested traffic states in empirical observations and microscopic simulations.* Physical Review E, vol. 62, no. 2, pages 1805–1824, 2000. (Cité en page 63.)
- [Waal 2003] C. Waal et M. Gerharz. *Bonnmotion : A mobility scenario generation and analysis tool.* Communication Systems group, Institute of Computer Science IV, University of Bonn, Germany. Website : <http://web.informatik.uni-bonn.de/IV/Mitarbeiter/dewaal/BonnMotion>, 2003. (Cité en page 63.)
- [Wang 2007] SY Wang, CL Chou, YH Chiu, YS Tzeng, MS Hsu, YW Cheng, WL Liu et TW Ho. *NCTUns 4.0 : An integrated simulation platform for vehicular traffic, communication,*

- and network researches*. In IEEE 66th Vehicular Technology Conference, VTC- Fall., pages 2081–2085. IEEE, 2007. (Cité en page 46.)
- [Wang 2008] S.Y. Wang et C.C. Lin. *NCTUns 5.0 : A network simulator for IEEE 802.11 (p) and 1609 wireless vehicular network researches*. In IEEE 68th Vehicular Technology Conference, VTC-Fall., pages 1–2. IEEE, 2008. (Cité en page 46.)
- [Win ] *www.winpcap.org*. (Cité en page 76.)
- [Zeng 1998] X. Zeng, R. Bagrodia et M. Gerla. *GloMoSim : a library for parallel simulation of large-scale wireless networks*. ACM SIGSIM Simulation Digest, vol. 28, no. 1, pages 154–161, 1998. (Cité en page 46.)