



UNIVERSITE SULTAN MOULAY SLIMANE
Faculté des Sciences et Techniques
Béni-Mellal



Centre d'Études Doctorales : Sciences et Techniques

Formation Doctorale : Mathématiques et Physiques Appliquées

THÈSE

Présentée par

ANSAM ENNACIRI

Pour l'obtention du grade de

DOCTEUR

Spécialité : INFORMATIQUE

Option : INFORMATIQUE

**Contribution à l'amélioration de transmission vidéo dans les réseaux ad-hoc
véhiculaires**

Soutenue le Samedi 26 Septembre 2020 à 9h devant la commission d'examen :

Pr. Abdellatif HAIR	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, FST BENI MELLAL, Maroc.	Président
Pr.Khalid ZENKOUAR	Professeur, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, F.S.T. Fès, Maroc	Rapporteur
Pr.Mustapha SAADI	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, ENSA KHOURIBGA, Maroc	Rapporteur
Pr.Rachid EL AYACHI	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, F.S.T. Béni-Mellal, Maroc	Rapporteur
Pr. Najlae IDRISSE	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, F.S.T. Béni-Mellal, Maroc	Examineur
Pr. Mohammed ERRITALI	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, F.S.T. Béni-Mellal, Maroc	Co-Directeur de Thèse
Pr.Jamaa BENGOURRAM	Professeur, Université Sultan Moulay Slimane, F.S.T. Béni-Mellal, Maroc	Directeur de Thèse



DEDICACE

« Essayez d'être un arc-en-ciel dans le nuage de quelqu'un. »

Maya Angelo

Nous avons tous des personnes dans notre vie qui apparaissent comme une lumière qui vient éclairer notre obscurité. C'est avec ces personnes que nous avons appris que quoique les Hommes se plaisent à penser qu'ils peuvent se débrouiller seuls, l'Homme, le vrai, sait que rien ne vaut le soutien et l'encouragement d'autrui, et c'est eux qui méritent ma dédicace aujourd'hui.

Je dédie ce travail

Aux deux êtres les plus proches de mon cœur

Au plus cher des pères <<ABDERREZAK ENNACIRI>>

A la plus chère des mères <<Fatiha ZOUBIR>>

Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour & de l'affection dont ils ne cessent de nous la combler.

Vous avez toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour.

Vous êtes et vous resterez pour moi ma référence, la lumière qui illumine mon chemin.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Qu'ils trouvent ici l'expression d'un grand amour et d'une gratitude qui, si grande qu'elle puisse être, ne sera jamais à la hauteur de leur patience.

Puisse Dieu, le tout puissant vous préserver du mal, vous combler de santé, de bonheur et vous procurer une longue vie.

À mon mari Karim

Pour l'amour et l'affection qui nous unissent. Je ne saurais exprimer ma profonde reconnaissance pour le soutien continu dont tu as toujours fait preuve. Tu m'as toujours encouragé, incité à faire de mon mieux, ton soutien m'a permis de réaliser le rêve tant attendu. Je te dédie ce travail avec mes vœux de réussite, de prospérité et de bonheur. Je prie Dieu le tout puissant de préserver notre attachement mutuel, et d'exaucer tous nos rêves.

Que dieu le tout puissant nous accorde un avenir meilleur.

À ma Sœur Sanaa

Aucune dédicace ne peut exprimer mon amour et ma gratitude de t'avoir comme sœur. Je ne pourrais jamais imaginer la vie sans toi, tu comptes énormément pour moi, tu es la sœur qui assure son rôle comme il faut, je n'oublierais jamais ton encouragement et ton soutien le long de mes études, je t'estime beaucoup et je t'aime beaucoup. Je te souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie pleine de joie et de bonheur.

À mon frère Omar

Ces quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte. Ta bonté, ton précieux soutien, ton encouragement tout au long de mes années d'étude, ton amour et ton affection, ont été pour moi l'exemple de persévérance. Je trouve en toi le conseil du frère et le soutien de l'ami. Que ce travail soit l'expression de mon estime pour toi et que Dieu te protège, t'accorde santé, succès et plein de bonheur dans ta vie.

À tous ceux que j'aime

À tous ceux qui m'aiment...



REMERCIEMENTS

« La reconnaissance est la mémoire du coeur. »

Hans Christian Andersen

Les travaux présentés dans cette mémoire ont été effectués au Laboratoire de Recherche en Informatique (TIAD), à la Faculté des Sciences et Technique de BENI MELLAL, sous la direction de Mr. Jamaa BENGOURRAM et le co-encadrement de Monsieur Mohamed ERRITALI et dans le cadre d'une thèse pour l'obtention du grade de docteur au Maroc.

C'est avec la plus profonde gratitude que je souhaite remercier mon directeur de thèse **M. Jamaa BENGOURRAM**, Vice doyen de la Faculté des Sciences et Techniques de BENI MELLAL. Je le remercie infiniment pour tout l'intérêt, le suivi et l'implication inconditionnels portés à cette thèse, inlassablement durant toutes ces années et malgré son emploi du temps chargé. J'exprime ici ma profonde gratitude à son égard et l'estime respectueuse que je lui porte.

Merci aussi à mon co-encadrant **M. Mohamed ERRITALI**, Professeur habilité à la Faculté des Sciences et Techniques de BENI MELLAL. Je tiens à le remercier pour ces années de soutien, pour ses précieux conseils scientifiques et pour son aide et sa capacité à simplifier les problèmes rencontrés dans le cadre du travail. Je le remercie infiniment pour sa compréhension dans toutes les circonstances et pour son habilité de toujours trouver les mots d'encouragement, qui ne manquaient pas d'augmenter ma motivation. Je lui suis donc redevable de m'avoir permis de poursuivre cette thèse dans de bonnes conditions.

Ensuite, je tiens à remercier **M. RACHID ELAYACHI** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, **M. Mustapha SAADI** professeur à l'Ecole Nationale des Sciences Appliquées Khouribga, et **M. Khalid ZENKOUAR** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès, pour avoir consacré du temps dans la lecture de cette thèse ainsi pour avoir soumis leurs précieux jugements sur la qualité et le contenu de ce travail.

Mes remerciements s'adressent également à **M. Abdellatif HAIR** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal et **Mme. IDRISSE NAJLAE** professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal, membres du jury, qui ont bien accepté de siéger au jury de cette thèse. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma reconnaissance !

Je veux également exprimé toute ma reconnaissance à **Mr. Mustapha MABROUKI**, Professeur de la Faculté des Sciences et Techniques de BENI MELLAL, et directeur du laboratoire LGI. Je lui exprime ma profonde gratitude de m'avoir accueilli au sein de l'équipe LGI, d'avoir accepté de diriger mes travaux de recherche, et de m'avoir consacré tout ce temps et toute cette énergie et toujours dans la bonne humeur. J'ai ainsi largement pu profiter de sa grande acuité scientifique et de son enthousiasme indéfectible et communicatif pour le travail de ses doctorants.

Enfin je remercie **Mr. Mohamed fakir**, pour ces années de soutien ainsi que pour ses précieux conseils. De plus, je le remercie pour sa modestie, son optimisme ainsi que son intérêt porté à mes travaux.

Nos remerciements s'adressent à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je termine par les personnes que je ne saurais jamais remercier assez. Milles merci à ma chère maman. Merci à mon cher époux. Merci à ma famille et ma belle-famille.



RÉSUMÉ

Les dernières améliorations apportées aux technologies sans fil dans divers environnements permettent de concevoir et de mettre en œuvre différents types de réseaux sans fil déployés.

Actuellement, le réseau AD HOC véhiculaire (VANET) est devenu un concept de réseau sans fil le plus émergent. C'est une approche prometteuse dans le domaine du Système de Transport Intelligent (SIT). Notamment, que les VANET jouent un rôle important en offrant un niveau élevé de sécurité et de confort aux conducteurs sur les routes.

Cependant, la conduite devient de plus en plus dangereuse vu l'augmentation importante du nombre de véhicules ces dernières années.

En effet, les embouteillages générés sont parmi les causes de nombreux accidents de la route, avec ce que ceci implique en termes de dégâts humains et matériel.

Afin d'assurer une fluidité du transit routier dans les meilleures conditions de sécurité routière, les technologies de communication sont alors nécessaires.

C'est dans cette optique que s'inscrit notre thèse, qui cherche à améliorer conjointement la source et les protocoles de transmissions.

Pour se faire, nous présentons dans un premier temps une analyse détaillée du concept moderne de développement des systèmes de transport intelligents, en étudiant l'impact de la transmission vidéo sur un réseau véhiculaire. Par la suite nous développons deux approches, l'une vise à concevoir et à développer les techniques d'optimisation des itinéraires à travers différents critères de la qualité de service, en utilisant une stratégie de contrôle de la congestion sur le réseau véhiculaire, et une seconde, qui vise à organiser le processus de diffusion de messages d'information dans les réseaux VANET aux fins des systèmes de sécurité routière. Cette stratégie est basée sur une nouvelle approche de diffusion qui donne la priorité aux messages urgents liés à un accident. Par conséquent, l'application des techniques proposées contribue à améliorer la fiabilité, la sécurité et la sûreté des VANET.

Mots clés : VANET, QOS, Vidéo.



ABSTRACT

The latest improvements in wireless technologies; in various environments; allow for the design and implementation of different types of deployed wireless networks.

Currently, the vehicular AD HOC network (VANET) has become a most emerging wireless network concept. This is a promising approach in the field of Intelligent Transport Systems (ITS).

In particular, VANET play an important role in providing a high level of safety and comfort to drivers on the road.

However, driving is becoming increasingly dangerous due to the significant increase in the number of vehicles in recent years. Indeed, the traffic jams generated are among the causes of many road accidents, with what this implies in terms of human and material damage.

In order to ensure the smooth flow of road transit under the safest road conditions, advanced communication technologies are then necessary. This is the focus of our thesis, which seeks to jointly improve the source and transmission protocols. For this purpose, we initially present a detailed analysis of the modern development concept of intelligent transport systems, by examining the impact of the vehicle network on road traffic scenarios.

Subsequently we develop two approaches, one aims to design and develop route optimization techniques through different quality of service criteria, using a congestion control strategy on the vehicle network, while the second one, aims to organize the process of broadcasting information messages in VANET for the purposes of road safety systems. This strategy is based on a new dissemination approach that gives priority to urgent messages related to an accident. Consequently, the application of the proposed techniques contributes to improving the reliability, security and safety of VANET.

Keywords : VANET; QOS; Video;



LISTE DES ACRONYMES

Ad-Hoc *Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast*
ARIB *Association des industries et des entreprises de la radio*
ARQ *Automatic Repeat Request*
BCM *Module de contrôle des freins*
CALM *Accès à la communication pour les mobiles terrestres*
CAN *Contrôleur Réseau régional*
CCH *Common Control Channel*
CEN *Comité européen de normalisation*
CISS *Systèmes de sécurité d'intersection coopératifs*
CSMA/CA *Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*
CT, 86, *Centre de transit*
CTR *The Cut-Through Re-broadcasting*
D2B *Domestic Digital data Bus*
DBA-MAC *Dynamic Backbone-Assisted MAC*
DCT : *discrete cosine transform*
DoT *Department of Transportation*
DRG *Distributed Robust Geocast*
DSRC *Dedicated Short-Range Communication*
DWT : *discrete wavelet transform*
EAEP *Edge Aware Epidemic Protocol*
ECU *Unité de contrôle du moteur*
EST *Electronic Spark Timing*
FB *Fast Broadcast*
FEC *ForwardError Correction*
GNSS *Système mondial de navigation par satellite*
GPS *Système mondial de localisation, Le système de positionnement global*
HD *Haute Définition*
I2I *Infrastructure à infrastructure*
IHM *Interface homme-machine*
IP *Internet Protocol*
ITS *système de transport intelligent*
IVC *communication intervéhicules*
JPEG : *Joint Photographic Experts Group*
JPEG2000 : *Joint Photographic Experts Group 2000*
LAN *Local Area Network*
LIN *Réseau d'interconnexion local*
M2M *Communication entre machine*
MDC *Multiple Description Coding*
MDDV *Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm for Vehicular Networks,*
MIMO *Multiple Input Multiple Output*
MOST *Transport des systèmes orientés médias*
MSE : *Mean Square Error*
OBU *On Board Unit*
ODAM *Optimized Dissemination of Alarm Message*
ODMPR *On Demand Multicast Routing Protocol*
OMS *Organisation Mondiale de la Santé*
PAB *Position-based Adaptive Broadcast*
POCA *Position Aware Reliable Broadcast Protocol*

PSNR : *Peak Signal Noise Ratio*
QoS *Qualité de service*
REAR *Receipt Estimation Alarm Routing*
RFID *Identification par radiofréquence*
RSU *Roadside Unit*
SB *Smart Broadcast*
STAR *Shortest-Path-Based Traffic-Light-Aware Routing*
SVC *Scalable Video Coding*
TCU *Unité de contrôle de transmission*
TOD : *transformée en ondelette discrète*
TTA *Time-triggered architecture*
UEP *Unequal Error Protection*
UIT *Union internationale des télécommunications*
UMB *Urban Multi-Hop Broadcast*
V2H *Vehicular to Home*
V2I *Communication véhicule à infrastructure*
V2V *Communication entre véhicules*
VADD *Vehicle Assisted Data Delivery*
VANET *Réseaux ad-hoc véhiculaire*
VOD *Video On Demand*
WAVE *Wireless Access in Automobile Environments*
WiMAX *Interopérabilité mondiale pour accès par micro-ondes*
WLAN *Wireless local area network*



TABLE DES MATIÈRES

DEDICACE	i
REMERCIEMENTS	ii
RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ACRONYMES.....	v
TABLE DES MATIÈRES.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CONTEXTE GÉNÉRAL.....	1
PROBLÉMATIQUE.....	2
MOTIVATION.....	3
OBJECTIFS ET CONTRIBUTIONS	7
STRUCTURE DE LA THESE	9
RESEAUX AD-HOC VEHICULAIRE ETAT DE L'ART ET GENERALITES	10
1.1 Introduction.....	11
1.2 Aperçu sur les véhicules connectés	11
1.2.1 Les systèmes embarqués.....	12
1.2.2 LES TECHNOLOGIES ET LES MODES DE COMMUNICATION	12
1.3 Buts et objectifs des STI	15
1.4 Normes et recommandations dans le domaine des STI.....	17
1.4.1 Normes de VANET	22
1.5 Architecture de STI.....	23
1.5.1 Architecture de réseau	25
1.5.2 La structure de la station ITS standard	28
1.5.3 Technologies d'interaction	29
1.5.4 Le rôle de VANET dans la structure des ITS.....	32
1.6 Architecture du réseau VANET	32

1.6.1 Définitions et concepts de base de VANET	33
1.6.2 Caractéristiques des VANET	33
1.6.3 Exigences de VANET	34
1.6.4 Composition de VANET	34
1.6.5 Méthodes d'échange d'informations	39
1.6.6 Topologies VANET	40
1.6.7 Applications de réseau automobile.....	40
1.6.7.1 Applications d'usage général.....	41
1.6.7.2 Applications de gestion du trafic	41
1.6.7.3 APPLICATIONS LIÉES AU TRAFIC	41
1.6.7.4 Applications de sécurité	42
1.6.7.5 APPLICATIONS DE SÉCURITÉ ET D'URGENCE	43
1.6.7.6 APPLICATIONS CONFORT	44
1.7 Streaming vidéo dans les réseaux VANET	45
1.8 Conclusion	49
Analyse des performances des données sur le réseau Ad-hoc véhiculaire	50
2.1 Introduction.....	51
2.2 Etude de la compression des images par ondelettes : Norme JPEG2000	52
2.2.1 Compression d'image.....	52
2.2.2 La norme JPEG2000(Joint Photographic Experts Group 2000)	53
2.2.3 Transformée en ondelettes :	53
2.2.4 Discrete Wavelet Transform (DWT)	54
2.2.4.1 Principe.....	54
2.2.4.2 Application de la TOD (transformée en ondelette discrète) sur une image	55
2.2.5 Résultats & Analyse :	58
2.3 Vidéo Streaming :	66
2.3.1 La vidéo Streaming à travers les réseaux ad-hoc :	66
2.3.1.1 802.11g Norme :	68
2.3.2 Le modèle de distribution du H264 AVC	68
2.3.3 Les Problèmes fondamentaux de Streaming :	69
2.3.4 Résultats et analyse.....	69
2.3.4.1 Paramètres d'évaluation utilisés	70
2.3.4.1.1 Les paramètres et attributs adoptés pour la simulation de la visioconférence	70
2.4 CONCLUSION	74
Contribution à l'amélioration de la qualité de service sur le réseau Ad-hoc véhiculaire.....	75
3.1 Introduction.....	76
3.2 Interconnexions et graphiques.....	77

3.2.1 Les règles de composition des contraintes :	78
3.3 La qualité du service.....	79
3.3.1 Problématique :	80
3.4 Approches proposées et résultats.....	81
3.4.1 Méthode utilisée :	81
3.4.1.1 Description d'algorithme 1:	82
3.4.1.2 Description d'algorithme 2:	85
3.4.1.3 Méthode d'Amélioration de la qualité de service:	87
3.4.1.3.1 Description :	87
3.5 Illustration de l'approche et résultats	90
3.6 Développement d'un algorithme pour le contrôle de la diffusion des paquets	92
3.6.1 Analyse d'approches pour la construction de systèmes de sécurité :.....	93
3.6.2 Techniques d'amélioration de la résilience du réseau VANET.....	95
3.6.2.1 Classification des méthodes de contrôle de la congestion pour le trafic de radiodiffusion	96
3.6.3 Distance de l'information	97
3.6.3.1 Limitation de la distance d'information.....	97
3.6.4 Estimation du nombre de relais	99
3.6.4.1 Algorithme de contrôle du niveau de retard	100
3.6.4.2 Choix du délai	101
3.6.5 Algorithme proposé	101
3.6.5.1 Limite de durée de vie et contrôle des doublons	101
3.6.6 Simulation et paramètres.....	102
3.6.6.1 Résultats expérimentaux.....	104
3.7 Conclusions	106
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	107
Liste des publications	110
Liste des communications	111
Bibliographie	112

LISTE DES FIGURES

Figure 1. 1 Réseaux de véhicules embarqués	13
Figure 1. 2 Modes de communication	14
Figure 1. 3 Organismes d'élaboration de normes STI	18
Figure 1. 4 Modèle d'interaction généralisé pour les STI.	23
Figure 1. 5 Réseaux externes impliqués dans l'architecture ITS et leurs interconnexions	25
Figure 1. 6 : Architecture du réseau de haut niveau	27
Figure 1. 7 Architecture du système VANET.	28
Figure 1. 8 Composition du composant RSU	28
Figure 1. 9 Technologies d'interaction STI	30
Figure 1. 10 La pile du protocole WAVE	31
Figure 1. 11 Architecture du système VANET	38
Figure 1. 12 Modèle d'interopérabilité de VANET	39
Figure 1. 13 Topologies VANET	40
Figure 1. 14 Véhicule autonome	42
Figure 2. 1 Les étapes de la norme JPEG2000	53
Figure 2. 2 Première étape de l'algorithme de la TOD	55
Figure 2. 3 Deuxième niveau du TOD	55
Figure 2. 4 Les ondelettes de Daubechies	57
Figure 2. 5 Les ondelettes de Haar	57
Figure 2. 6 Compression des images 'Lenna', 'Woman', 'Fingerprint' en utilisant les ondelettes de: 'dct', 'haar', 'coiflet', 'Daubechies.	60
Figure 2. 7 Histogrammes des coefficients DWT du 3ème niveau de l'image de Lenna par ondelettes de Daubechies 2 "db2".	60
Figure 2. 8 Histogrammes des coefficients DWT 2ème niveau de l'image de Lenna par l'ondelette de Daubechies2 'db2'.	61
Figure 2. 9 Histogrammes des coefficients DWT 1er niveau de l'image de Lenna par l'ondelette de Daubechies2 'db2'.	61
Figure 2. 10 Comparaison entre la compression DWT de 'haar' et la DCT au niveau d'énergie	62
Figure 2. 11 Comparaison entre la compression DWT) de 'coiflet' et la DCT au niveau d'énergie.	62
Figure 2. 12 Pourcentage d'énergie retenue et nombre de zéros utilisant différents niveaux de décomposition pour l'image " woman ".	65
Figure 2. 13 Image compressée de 'lenna' à 2ème niveau et à 4ème niveau	66
Figure 2. 14 Trafic reçu pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps	71
Figure 2. 15 Trafic reçu (paquets / sec) pour chaque position à 11Mbps	71
Figure 2. 16 Délai de bout en bout pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps	72
Figure 2. 17 Variation du délai de transmission des paquets pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps	72
Figure 2. 18 Variation du délai	73
Figure 2. 19 Délai de bout en bout.	73

Figure3. 1 Représentation du graphe G	78
Figure3. 2 Temps d'attente absurde	79
Figure3. 3 Présentation schématique de l'algorithme1	82
Figure3. 4 Modélisation du réseau VANET	82
Figure3. 5 Schéma du principe de l'algorithme 2.	85
Figure3. 6 Connectivité graphique dans les VANET.	85
Figure3. 7 Présentation schématique de l'algorithme 3	89
Figure3. 8 Temps de séjour moyen par rapport au nombre de paquets par nœud	90
Figure3. 9 Taux de perte de paquets pour l'algorithme 1 et l'algorithme 2	91
Figure3. 10 TEMPS DE SÉJOUR MOYEN POUR DIFFÉRENTS ALGORITHMES	91
Figure3. 11 Taux de perte de paquets pour différents algorithmes	92
Figure3. 12 Système de sécurité routière utilisant une infrastructure fixe	94
Figure3. 13 Utilisation d'antennes directives sur un OBU	94
Figure3. 14 Contrôle de la puissance de l'émetteur OBU	95
Figure3. 15 Distance de notification	98
Figure3. 16 Diagramme des transitions d'état des nœuds	100
Figure3. 17 Algorithme de contrôle de duplication et de limitation de la durée de vie des paquets	102
Figure3. 18 Carte de la ville de Béni-Mellal	103
Figure3. 19 Retard dans le cas normal	104
Figure3. 20 Retard dans le cas amélioré	104
Figure3. 21 Taux de perte de paquets dans le cas normal	105
Figure3. 22 Taux de perte de paquets dans le cas amélioré	105



LISTE DES TABLEAUX

Table 1. 1 Comparaison entre les différentes communications embarquées Technologies	13
Table 1. 2 Comparaison entre les différentes technologies des principaux candidats	15
Table 1. 3 Composition du comité ISO / TC 204	18
Table 1. 4 Composition du comité CEN / TC 278	18
Table 1. 5 Application de sécurité dans les VANET	43
Table 1. 6 Les exigences de qualité de service de la vidéo	47
Table 2. 1 Pourcentage de l'énergie totale dans les coefficients DWT pour l'image de Lenna	61
Table 2. 2 PSNR et taux de compression pour les images compressées par des ondelettes bi-orthogonales	63
Table 2. 3 PSNR et TC des images compressées par des ondelettes Daubechies.	63
Table 2. 4 Résultats pour différents niveaux de décomposition.	65
Table 2. 5 Les paramètres et les attributs adoptés pour la simulation de vidéo conférence	70
Table 2. 6 Les paramètres et attributs utilisés pour notre simulation	70
Table3. 1 Matrice d`adjacence	83
Table3. 2 Matrice de routage	83
Table3. 3 Matrice d`adjacence pour l`algorithme 2.	85
Table3. 4 Matrice de routage pour algorithme 2	86
Table3. 5 Paramètres de simulatio	103



INTRODUCTION GÉNÉRALE

CONTEXTE GÉNÉRAL

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANET) ne sont plus une promesse futuriste mais plutôt une technologie réalisable. Les véhicules sont déjà équipés d'une variété de dispositifs informatiques qui contrôlent ou aident les conducteurs dans de nombreuses tâches telles que la localisation, le freinage en toute sécurité, le stationnement, le divertissement des passagers, etc[1] [2]. Il est donc intuitif que l'étape suivante consiste à fournir des capacités de communication embarquées permettant de fusionner les informations détectées (vitesse, proximité des objets, dysfonctionnement du véhicule), les mécanismes automatisés (freinage, stationnement, régulateur de vitesse) et les équipements de divertissement (écrans, systèmes vidéo et audio, postes de jeux vidéo) disponibles sur plusieurs véhicules proposant de nombreux services utiles (par exemple prévention des collisions, alertes d'accidents, notification aux premiers intervenants, services dans le cloud, jeux multijoueur). La fusion de ces dispositifs, informations et services devrait être assurée par la coopération de toutes les entités concernées. A l'heure actuelle, les VANET constituent l'un des sujets de recherche phare de la communauté scientifique internationale dans le domaine des systèmes de transport intelligent, vu leur importance dans l'émergence des villes intelligentes ou « Smart Cities ». Face à cette réalité et dans le but de développer de nouvelles compétences dans ce domaine, le projet de recherche initiant les travaux de cette thèse, intitulé « Contribution à l'amélioration des transmissions de vidéo dans les réseaux AD HOC VEHICULAIRES » a été proposé. Ce projet de recherche est en effet une concrétisation de la collaboration scientifique, impliquant deux laboratoires de recherche, à savoir le LGI et TIAD de l'université SULTAN MOULAY SLIMAN de BENI MELLAL.

En effet, le partage des données est devenu beaucoup plus facile grâce à l'incorporation de diverses applications pour des mesures de sécurité de haut niveau, l'efficacité du trafic, le confort et bien d'autres [3].

Le concept du réseau véhiculaire a suscité un énorme intérêt de la part de toutes les communautés scientifiques du monde entier. La tendance est de rendre la conduite bien meilleure, sans risque, plus efficace [4], une zone urbaine informée et plus agréable pour les passagers - accès Internet, médias sociaux, conseils aux conducteurs pour une bonne manœuvre de dépassement, une vidéosurveillance en direct pour surveiller les comportements antisociaux(vols, actes de terrorisme, crimes) etc[5]. Le réseau ad hoc véhicule (VANET) rassemble tous ces exemples d'applications grâce à son architecture qui couvre des structures matérielles et logicielles particulières.

En fait, dans un tel réseau, les véhicules sont équipés d'une unité embarquée (OBU), tandis que l'unité latérale de route (RSU) est installée le long des zones de déplacement, assurant les communications véhicule à véhicule (V2V) et véhicule à infrastructure (V2I)[6]. En outre, le VANET représente un dérivé du réseau mobile ad hoc (MANET) qui ne dépend pas d'une infrastructure fixe où les véhicules sont très actifs avec une topologie intelligente. En effet, les véhicules contribuent à la performance globale du système de manière intermittente et imprévisible, avec un haut niveau de fluidité et de disponibilité [7].

Dans cette optique, plusieurs solutions ont été développées dans la littérature à différentes échelles.

Toutefois, de nombreuses suggestions ont été faites sur les moyens de détection de la somnolence éventuelle du conducteur [8] (p. ex. ceintures de sécurité avec moniteur de rythme cardiaque, reconnaissance du visage à la recherche de somnolence, pression des mains sur le volant) qui pourraient être utilisés pour prévenir les accidents. Une technologie qui utilise des parebrises comme des moniteurs ont été proposés et qu'ils permettraient de fournir des solutions de réalité augmentée [9] (p. ex. affichage des limites des routes et des rues dans les régions mal éclairées, indication du passage des animaux sauvages, notification précoce des feux de circulation qui deviennent rouges). L'informatique nuagique a mis l'accent sur la nécessité de fournir des capacités de communication embarquées afin d'assurer un accès omniprésent à une variété de services en ligne et d'enrichir les informations stockées distribuées avec des données obtenues à partir de véhicules[10].

La majorité des services envisagés pour les réseaux VANET nécessitent soit la disposition d'un support multimédia, soit l'ajout d'une fonction supplémentaire extrêmement utile. Cependant, la transmission de contenus vidéo sur les réseaux de véhicules représenterait un progrès supplémentaire.

En particulier, les capacités de transmission de vidéo sur les VANET sont cruciales pour le développement des services intéressants et utiles. Une caméra installée dans une intersection pourrait capturer des informations cruciales d'un accident qui seraient acheminées vers une ambulance entrante et même vers les médecins d'un hôpital, ce qui pourrait réduire considérablement le temps de réponse dans la prestation de soins de santé vitaux.

Dans le cadre de cette thèse, l'étude de la transmission de vidéo dans les réseaux VANET, est examinée et des solutions sont proposées et évaluées pour maintenir un niveau optimal de performance du réseau en présence de différents types de perturbations.

PROBLÉMATIQUE

Au début du XXIe siècle, le concept d'Internet des objets (IoT) a permis de créer une structure d'info-communication qui fournit aux usagers non seulement des informations relatives à la sécurité, mais également des services d'information. Cette structure est appelée les systèmes de transport intelligents (ITS). L'un des composants les plus importants de l'ITS, responsable de l'élaboration de la structure du réseau, est le réseau auto-organisateur automobile VANET (réseaux véhiculaires ad hoc), pour la construction duquel une norme spéciale IEEE 802.11p a été développée. La spécificité de cette classe de réseaux, due à la forte dynamique des

changements dans leur composition et leur structure, a conduit à l'apparition d'un large éventail de tâches de recherche.

Etant donné que les besoins en retards sont importants pour les principaux groupes de messages provenant d'applications de sécurité routière, ces retards ne doivent généralement pas dépasser dix ms, plusieurs études ont pour objectif d'optimiser l'utilisation d'une ressource réseau.

Les difficultés qui en résultent sont dues à un ensemble de facteurs d'influence liés à la structure de l'environnement dans lequel le système est déployé. Ces facteurs sont particulièrement sensibles dans un environnement urbain avec des flux de trafic intensifs. Malgré la présence de nombreuses recherches scientifiques dans ce domaine, développer des méthodes optimisées d'échange d'informations reste indispensable.

La présente thèse est basée sur des études consacrées aux méthodes d'organisation du processus de diffusion de messages d'information dans les réseaux VANET aux fins des systèmes de sécurité routière. Ce mode d'interaction est fondamental pour les réseaux automobiles et nécessite une analyse et une étude détaillée.

L'introduction d'un système basé sur le réseau automobile nécessite la résolution d'une multitude de problèmes liés à différents domaines. La nature de ces problèmes varie de l'aspect économique de la mise en œuvre aux méthodes et algorithmes des applications développées. Lors de la résolution de ces problèmes, il convient de prendre en compte les différences fondamentales entre les réseaux VANET et les autres réseaux avec des objets plus mobiles, dont les caractéristiques sont plus stables. Parmi ces différences, il convient de souligner les caractéristiques suivantes :

- l'évolution rapide de la densité et de la composition du réseau, entraînant de fréquents changements de topologie et une forte fragmentation ;
- la forte densité de nœuds, associée à la possibilité de modifier le niveau de puissance du signal transmis, entraîne un niveau élevé d'interférences ;
- faible prévisibilité de la structure du réseau en relation avec la possibilité de modifier la composition du réseau en cas d'accident.

Ces caractéristiques des réseaux VANET posent des difficultés lors de la mise en œuvre du service prioritaire, à savoir : informer les usagers de la route de manière fiable et en temps voulu du danger,

En résumé, le contrôle de la congestion dans les réseaux VANET est confronté à de nombreux défis en raison de leurs caractéristiques uniques. Certains de ces problèmes sont : retard de transmission élevé, utilisation injuste des ressources, utilisation inefficace de la bande passante et surcharge de communication. Par conséquent, de nouvelles stratégies doivent être conçues pour résoudre ces problèmes, en particulier dans les situations d'urgence de VANET. Il est ainsi primordial d'optimiser les protocoles de routages afin d'accroître sa durée de vie tout en garantissant un niveau de qualité de service meilleure à l'utilisateur final. Cette problématique, malgré les nombreux travaux de recherche qui s'y étaient attachés, reste une problématique ouverte.

MOTIVATION

L'informatique pervasive (ubiquiste) n'est plus une idée futuriste prometteuse mais plutôt une réalité actuelle.

Les ordinateurs portables, tablettes, netbooks, smartphones sont largement disponibles et chaque nouveau modèle est obligatoirement équipé d'au moins une

interface sans fil, souvent de plusieurs.

Ces interfaces peuvent appartenir à une variété de technologies avec des applications différentes en fonction de leurs caractéristiques spécifiques, où la portée radio représente l'aspect le plus influent. Les portées radio varient de quelques mètres de Bluetooth [11], à quelques centaines de mètres de Wifi [12] ou même quelques kilomètres de WiMax [13]. La communication sans fil est l'épine dorsale derrière l'accès omniprésent aux ressources informatiques et aux réseaux.

De plus, la communication sans fil permet aux utilisateurs des dispositifs informatiques de maintenir leur connectivité tout en se déplaçant. La mobilité change le paradigme de la recherche sur les réseaux puisque les liens entre les nœuds ne sont pas aussi stables et robustes que dans les réseaux statiques.

Les réseaux constitués de dispositifs mobiles doivent tenir compte du scénario dans lequel ces dispositifs se déplacent vers des régions où aucune infrastructure n'a été déployée auparavant. Les réseaux mobiles ad hoc (MANET) sont des réseaux et la communication repose principalement sur l'échange de messages entre des nœuds mutuellement accessibles. Dans ce cas, l'intermittence des liaisons est d'autant plus grave qu'elles sont généralement entre des nœuds en mouvement.

A travers les années, les véhicules sont de plus en plus équipés de dispositifs informatiques et il est évident que la prochaine étape consiste à fournir un système de communication inter-véhiculaire. Par conséquent, la communication sans fil a été considérée à être utilisée par les véhicules afin d'améliorer encore les installations de calcul embarquées.

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANET) sont des réseaux formés par la connexion de ces véhicules modernes. Bien que ce processus puisse être assisté par l'infrastructure routière, il est indispensable d'instaurer un échange d'informations entre les véhicules. Dans ce sens, les VANET forment un réseau collaboratif de dispositifs informatiques embarqués qui se déplacent à grande vitesse.

La technologie qui sera utilisée comme interface sans fil pour les véhicules a encore fait l'objet de discussions. La norme sur les communications dédiées à courte portée (DSRC)[14] est un guide pour la communication sans fil entre les véhicules. L'approche initiale et directe consiste à utiliser l'interface sans fil la plus courante sur le marché : IEEE 802.11 b/g/i/n (Wi-Fi)[15]. Cependant, le Wi-Fi a été conçu pour la communication entre appareils statiques et offre une portée radio limitée.

La norme IEEE 802.16 (WiMAX) [16] a été considérée comme une alternative en raison de la portée de communication considérablement plus longue, mais la manière dont WiMAX se comporterait avec des périphériques se déplaçant à grande vitesse n'est toujours pas claire. Une nouvelle technologie prometteuse est la nouvelle norme IEEE 802.11p [17], ainsi que l'accès sans fil aux environnements véhiculaires (WAVE) [24], doivent tenir compte des détails spécifiques des réseaux véhiculaires en offrant une portée raisonnable jusqu'à 1 km.

Les VANET sont un type spécifique de MANET avec des particularités fondamentales qui rendent infaisable l'utilisation directe de la plupart des solutions pour les MANET.

Au lieu de transporter des personnes avec des appareils portables, les VANET sont composés de véhicules équipés d'ordinateurs de bord capables d'échanger des messages sans fil. Les utilisateurs sont principalement les conducteurs et les passagers, chacun ayant ses propres intérêts et restrictions qui doivent être considérés comme des champs d'application pour les services envisagés.

Les dispositifs embarqués des véhicules sont beaucoup plus puissants que les dispositifs portables courants des MANET, ce qui réduit considérablement les restrictions. L'avantage le plus important par rapport aux MANET est que, dans les VANET, la source d'énergie est pratiquement illimitée, de sorte que la consommation d'énergie n'est pas un problème.

De plus, nous pouvons considérer que la puissance de calcul (CPU et mémoire) est aussi bonne que les meilleures options disponibles sur le marché. Pour cette raison, les protocoles développés pour les MANET doivent être réévalués afin d'offrir de meilleures performances puisque ces restrictions peuvent être ignorées.

Dans les réseaux VANET, plusieurs entités interagissent les unes avec les autres avec des rôles distincts.

Voici quelques exemples de ces entités et de leurs rôles :

- Véhicules : Ce sont clairement les plus prédominants dans les VANET et ils agissent à la fois en tant qu'utilisateurs et collaborateurs. Les véhicules sont les principaux utilisateurs, les conducteurs et les passagers étant les "clients" cibles de la majorité des applications envisagées. Les conducteurs peuvent profiter d'applications qui améliorent la sécurité sur les routes et les rues, de messages d'alerte ou de réalité augmentée grâce à des informations supplémentaires affichées sur le pare-brise lui-même (telles que les itinéraires, la circulation, les magasins et restaurants à proximité ou la vitesse et la distance des autres véhicules). Les passagers, quant à eux, peuvent profiter d'applications de divertissement (comme les jeux, la diffusion de films en continu ou l'accès à Internet avec possibilité de navigation) ou de communications améliorées (vidéoconférence). La collaboration des véhicules est fondamentale pour l'applicabilité des réseaux VANET puisqu'ils sont chargés de maintenir la communication dans les zones non couvertes par aucune autre infrastructure.

- Nœuds en bordure de la route : Les VANET peuvent être composés uniquement de véhicules communiquant ad hoc les uns avec les autres ou ils peuvent également profiter du soutien d'autres dispositifs informatiques placés à proximité des rues ou des routes. Cet ensemble de nœuds auxiliaires est appelé dans la littérature l'infrastructure routière. Il existe plusieurs types de nœuds routiers dont la fonctionnalité varie, comme la connectivité et la source du contenu. Les points d'accès multi-interfaces sont des nœuds en bordure de la route qui améliorent la connectivité entre les véhicules puisqu'ils forment une dorsale (filaire ou avec des capacités radio plus puissantes) et, de cette manière, ils permettent l'échange des messages entre véhicules distants. Les capteurs peuvent être déployés à la frontière des rues ou des routes et diffuser les informations capturées à d'autres entités. Voici des exemples d'informations capturées : la vitesse des véhicules, qui peut être utilisée pour déduire l'état de la circulation ; l'état des routes (sèches/mouillées/verglacées/couvertes de neige) afin d'améliorer la sécurité en informant ou en alertant correctement les conducteurs ; un flux vidéo en direct, où une caméra est considérée comme un capteur, qui diffuse les vidéos à certains endroits.

- Les agents du gouvernement : Le gouvernement joue un rôle non seulement important dans les réseaux VANET, mais il est également intéressé à utiliser cette technologie pour améliorer les services existants. Les services de transit peuvent utiliser les réseaux VANET pour collecter des données sur l'ensemble du réseau, les rassembler et les analyser afin d'en déduire des informations qui peuvent être également transmises aux véhicules pour améliorer la sécurité des conducteurs et des passagers. Par exemple, on pourrait identifier les accidents en signalant les véhicules qui se trouvent à proximité et utiliser cette information pour alerter les autres véhicules qui se dirigent vers cette zone. Les VANET sont un outil important pour les policiers, car ils contribuent aux mécanismes de surveillance et de poursuite des criminels. L'intervention d'urgence (fournie par le gouvernement ou des organismes privés) peut fournir un service plus efficace grâce aux réseaux VANET, où les flux vidéo sont envoyés aux médecins/ambulanciers ou les ambulances afin d'emprunter un itinéraire plus rapide et plus court en effectuant une analyse appropriée du trafic ou en alertant les conducteurs.

- Sociétés privées : Il est facile pour les entreprises qui exploitent déjà des véhicules sur route ou dans la rue de profiter de la disponibilité des VANET pour améliorer la qualité du service qu'elles offrent. Par exemple, les entreprises qui gèrent des routes privées peuvent offrir des services tels que l'accès à Internet, l'information sur les conditions de circulation, l'automatisation des péages ou les alertes d'accident. Par ailleurs, d'autres entreprises pourraient décider d'aborder ce nouveau créneau car il offre de nombreuses opportunités pour le déploiement de services intéressants et rentables.

Bien que les VANET ne souffrent pas de limitation de CPU, de mémoire ou de puissance comme dans les MANET, les vitesses élevées de déplacement des véhicules entraînent des défis difficiles à relever.

Un véhicule peut facilement atteindre 100 km/h, ce qui signifie que les véhicules se déplaçant à cette vitesse dans des directions opposées en utilisant la norme IEEE 802.11p (portée radio jusqu'à 1 000 m) seraient certainement hors de portée l'un de l'autre en moins de 20 secondes.

Par conséquent, les liaisons sont très intermittentes et de très courte durée. Les véhicules rapides créent de nouveaux liens au même rythme qu'ils sont interrompus, mais de courte durée. Pour toutes ces raisons, nous constatons que la topologie d'un VANET est extrêmement dynamique et c'est le principal défi des VANET.

La communication ad hoc entre les véhicules s'effectue par le biais d'un support sans fil.

Par conséquent, tous les véhicules dans le même voisinage partagent les mêmes canaux de communication.

Ceci a un impact significatif sur la manière dont les protocoles devraient envisager les transmissions uniques de paquets car elles consomment des ressources de tous les nœuds voisins mais aussi les atteignent simultanément.

Il est nécessaire de prendre des précautions afin d'éviter la transmission simultanée de paquets par des véhicules qui se trouvent dans la même portée, car cela risque de provoquer une défaillance lors de la réception de ces paquets. La collision des paquets transmis est souvent fréquente dans les régions denses.

L'un des problèmes des réseaux VANET qui est souvent négligé par de nombreux concepteurs de protocoles est la grande hétérogénéité de la densité dans l'ensemble du réseau. La répartition des véhicules dans une ville ou une autoroute varie considérablement [18,19]. Sur les autoroutes, nous observons que les véhicules ayant des types de mobilité similaires (c.-à-d. vitesse et direction) forment des clusters connectés qui peuvent cependant être déconnectés des autres clusters. En outre, les constructions, le trafic ou d'autres événements particuliers créent des zones de forte densité alors que d'autres régions sont peu peuplées. La densité non uniforme est encore plus évidente dans les environnements urbains.

Dans une perspective macro, la saisonnalité du trafic, les quartiers populaires (pour des raisons commerciales, de divertissement ou résidentielles) ou les routes communes ont tendance à attirer la concentration des nœuds de certains autres régions. De plus, les lumières, les intersections ou les panneaux d'arrêt rendent les fluctuations de densité encore plus dynamiques.

Le principal problème avec la non-uniformité de la densité est que les solutions tentent généralement d'être optimisées pour le compromis entre les frais généraux et l'efficacité, ce qui devient compliqué avec une variété de densités aussi étendue. Par exemple, les protocoles de routage se concentrent sur l'atteinte de taux de livraison élevés avec le moins de transmissions possible. Afin de pouvoir acheminer avec succès les paquets des sources vers les destinations, un protocole de routage doit être capable de relayer les paquets à travers des régions à faible densité, mais les solutions pour ces dernières conduisent probablement à une surcharge inutile par rapport aux régions plus denses.

Il est crucial que tout protocole proposé pour fonctionner sur les VANET doit tenir compte du fait que de nombreux services et applications sont potentiellement offerts à un nombre toujours croissant de nœuds. Les solutions qui nécessitent l'utilisation d'un grand pourcentage de la bande passante disponible ou qui monopolisent l'utilisation du canal sans fil ne sont pas pratiques pour un environnement envisagé offrant de nombreux services disponibles à un grand nombre d'utilisateurs. L'évolutivité est un impératif de toute solution conçue pour les VANET.

Un autre problème que rencontrent les réseaux ad hoc de véhicules est que les véhicules peuvent facilement se déplacer vers des régions où tous les véhicules qui s'y trouvent sont hors de portée de tout autre nœud du réseau [18]. Les périodes de déconnexion de longue durée sont courantes et leur occurrence détériore considérablement la qualité des services fournis via les réseaux VANET. La déconnexion peut être causée par les problèmes susmentionnés de dynamisme topologique ou de densité non uniforme, mais aussi par des caractéristiques physiques qui créent des trous de communication dans le réseau, tels que des blocs de bâtiments, des parcs, des lacs ou des rivières.

Par conséquent, Les VANET s'imposent comme un environnement extrêmement difficile pour le déploiement de tout valeureux service. Le dynamisme topologique, le support sans fil partagé, la densité non uniforme, la nécessité d'évolutivité et la déconnexion fréquente des nœuds façonnent fondamentalement la conception de tout protocole conçu pour réussir dans un tel scénario.

Ainsi, le taux de transmission a un impact significatif sur l'état des canaux, de sorte qu'en augmentant le taux de transmission, les canaux sont surchargés et la congestion se produit. Cependant, en diminuant le taux de transmission, les applications de VANET font face à un manque d'information actualisée.

Enfin, la priorisation des messages peut être effectuée pour améliorer la sécurité et la fiabilité des VANET. Les messages de sécurité devraient avoir plus de chances d'accéder aux canaux. Ainsi, une priorité plus élevée devrait être accordée aux messages de sécurité par rapport aux autres messages. La priorisation des messages peut être effectuée en fonction de différents facteurs, y compris le contenu des messages (p. ex. taille des messages, type de messages, etc.) et l'état des réseaux (p. ex. vitesse des véhicules, utilité des messages, etc.). En outre, l'ordonnancement des messages peut être exécuté en fonction des priorités définies. Pour optimiser la planification des messages dans les files d'attente, une planification des messages peut être effectuée en utilisant des techniques méta-heuristiques.

OBJECTIFS ET CONTRIBUTIONS

Dans le cadre de cette thèse, nous pouvons formuler les objectifs principaux de la recherche effectuée de la façon suivante :

- Une optimisation des itinéraires à travers différents critères de qualité de service afin de planifier une infrastructure de réseau de véhicules à la fois efficace et efficiente.

- Pencher sur les défis liés au réseau de véhicules, en prenant en compte les exigences modernes en matière de routage et en particulier l'optimisation des itinéraires selon différents critères de qualité de service (QoS).

- Une analyse des méthodes d'organisation de la distribution des messages d'applications liées à la sécurité du trafic via le réseau VANET ;

- La mise au point d'une méthode de gestion du trafic afin d'améliorer la résilience des systèmes de sécurité du trafic dans le cadre des STI.

En effet, le but de cette thèse est de développer une méthode de gestion de la distribution du trafic de diffusion, qui réduirait l'utilisation improductive d'une ressource réseau, tout en augmentant ainsi la résilience du système de sécurité du trafic routier.

La finalité absolue de cette mémoire est d'améliorer les performances de VANET en contrôlant la congestion. Cette finalité sera atteinte en proposant de nouvelles stratégies pour contrôler la congestion. De telles stratégies aident à contrôler les communications de trafic, à diminuer la saturation des canaux et à réduire la probabilité de congestion, tout en satisfaisant les exigences des applications de VANET.

Dans ce contexte, de nombreuses confrontations ont été évoquées telles que la sécurité, la connectivité, le protocole de routage et la gestion de la mobilité, tandis que les contenus eux-mêmes ne sont pas pris en compte.

Par conséquent, même s'il existe de nombreuses études consacrées à la transmission des vidéos, cette dernière reste la partie la plus attrayante de l'étude de la perception des utilisateurs lors de l'échange de données reste non couverte. Pour cette raison, nous affirmons qu'il manque une enquête qui permettra de fournir une meilleure comparaison qualitative et quantitative.

Cependant, la méthodologie que nous avons adoptée s'articule sur les axes suivants :

Dans un premier temps et afin de justifier le choix de la sélection de l'attaque de la qualité de service, nous avons évalué les performances des réseaux Ad Hoc en termes de pertes dans le cas de transmissions vidéo généralisées ainsi qu'à minimiser les délais de transmission.

Deuxièmement, nous proposons de concevoir et de développer des mécanismes de gestion adaptative basés sur la qualité de service (QoS).

A cet effet, notre approche consiste à concevoir et développer des techniques d'optimisation pour planifier une infrastructure de réseau de véhicules efficace et efficiente. Cela implique de prendre en compte la mobilité des véhicules et de trouver les itinéraires les plus appropriés en fonction des contraintes de mobilité et des exigences de qualité de service. En optimisant les itinéraires, nous visons à réduire les déconnexions coûteuses et à améliorer la fiabilité des communications dans le réseau.

Par conséquent, élaborer une stratégie de contrôle de la congestion qui utilise la priorisation et l'ordonnancement des messages.

Pour cela, nous avons proposé une nouvelle approche de la gestion du trafic routier dans les villes intelligentes, qui maintient les itinéraires les plus courts, basée sur la théorie des graphes afin de faciliter la gestion du trafic, grâce à l'utilisation d'un algorithme spécifique.

En ce qui concerne cette approche, nous visons à améliorer la qualité de service sur le réseau ad hoc des véhicules, en assurant la sécurité des véhicules en minimisant le nombre d'échanges entre véhicules, en optimisant la consommation et la durée de vie des capteurs.

La deuxième étape de notre étude, consiste à concevoir une nouvelle stratégie de diffusion qui vise à donner la priorité aux messages urgents liés à un accident dans les réseaux de véhicules. Notre objectif est d'alerter rapidement les véhicules à proximité et d'éviter les accidents potentiels.

Par conséquent, proposer une méthode de propagation du trafic de diffusion à partir d'applications liées au trafic basée sur un algorithme paramétrique qui limite le nombre de nœuds de relais sur la base de la valeur SINR. Contrairement aux systèmes existants, il se caractérise par l'absence d'exigences concernant la disponibilité des données de navigation provenant de systèmes externes, décide de relais en fonction de la valeur SINR et supprime la possibilité de relancer le

processus de transfert de messages.

STRUCTURE DE LA THESE

Cette thèse est organisée en trois chapitres dont les deux principaux sont basés sur des articles publiés ou soumis à la publication.

L'introduction confirme la pertinence du sujet de recherche, examine l'état du problème à l'étude, formule les buts et objectifs du travail, fournit des informations sur l'approbation du travail et présente les principales dispositions pour la défense.

Dans le **premier chapitre**, un examen détaillé du concept moderne de développement des systèmes de transport intelligents est réalisé. Une analyse de la composition et de la désignation des technologies et protocoles existantes pour la construction de système de sécurité du trafic est ainsi réalisée. Il couvre les principaux problèmes liés à la construction et à l'exploitation de réseaux VANET. Compte tenu le rôle des VANET dans la structure des STI et les principales solutions architecturales pour la mise en place d'un système de sécurité du trafic optimal.

Le chapitre 2 est divisé en deux parties : Dans la première partie du chapitre 2, nous nous concentrons sur l'étude des principales caractéristiques des ondelettes qui influent sur la compression d'image en utilisant la transformée en ondelettes discrètes, et d'aboutir à une compression de données d'images tout en gardant la qualité essentielle de l'image originale.

Tandis que la deuxième partie est consacrée principalement à un aperçu détaillé sur l'analyse de la mobilité dans les réseaux ad hoc véhiculaires et évaluer la performance d'une transmission vidéo en simulant de divers facteurs de performance de plusieurs véhicules sur des réseaux ad-hoc.

Le chapitre 3 est segmenté en deux parties distinctes. La première partie porte sur conception et le développement des techniques d'optimisation des itinéraires à travers différents critères de qualité de service, en utilisant des méthodes adaptées issues de la recherche opérationnelle, ainsi dans cette partie, on présente une stratégie de contrôle de la congestion sur le réseau en priorisant et planifiant tous les types de messages.

La deuxième partie passe en revue sur les approches actuelles en matière de construction de systèmes de sécurité du trafic basés sur les VANET. Les facteurs affectant la résilience de la structure du réseau sont identifiés. Une analyse comparative des méthodes existantes de distribution d'informations issues d'applications de sécurité routière est réalisée. Sur la base des résultats de l'analyse effectuée, on propose un procédé de distribution d'informations sur la base d'un nouvel algorithme de contrôle de paquets par relais de diffusion.

En **conclusion**, nous examinons les contributions de cette thèse ainsi que les limites pratiques de la mise en œuvre des stratégies proposées dans VANET. Certaines recommandations pour les travaux futurs sont également suggérées dans ce chapitre.

RESEAUX AD-HOC VEHICULAIRE ETAT DE L' ART ET GENERALITES

Sommaire

1.1	Introductions	11
1.2	Aperçu sur les véhicules connectés	11
1.2.1	Les systèmes embarqués	12
1.2.2	LES TECHNOLOGIES ET LES MODES DE COMMUNICATION	12
1.3	Buts et objectifs des STI	15
1.4	Normes et recommandations dans le domaine des STI	17
1.4.1	Normes de VANET	22
1.5	Architecture de STI	23
1.5.1	Architecture de réseau	25
1.5.2	La structure de la station ITS standard	28
1.5.3	Technologies d'interaction	29
1.5.4	Le rôle de VANET dans la structure des ITS	32
1.6	Architecture du réseau VANET	32
1.6.1	Définitions et concepts de base de VANET	33
1.6.2	Caractéristiques des VANET	33
1.6.3	Exigences de VANET	34
1.6.4	Composition de VANET	34
1.6.5	Méthodes d'échange d'informations	39
1.6.6	Topologies VANET	40
1.6.7	Applications de réseau automobile	40
1.6.7.1	Applications d'usage général	41
1.6.7.2	Applications de gestion du trafic	41
1.6.7.3	APPLICATIONS LIÉES AU TRAFIC	41
1.6.7.4	Applications de sécurité	42
1.6.7.5	APPLICATIONS DE SÉCURITÉ ET D'URGENCE	43
1.6.7.6	APPLICATIONS CONFORT	44
1.7	Streaming vidéo dans les réseaux VANET	45
1.8	Conclusion	49

1.1 Introduction

L'Étude des réseaux véhiculaires est un sujet relativement récent, mais de nombreuses recherches ont déjà été menées à ce sujet. Et d'une manière plus générique, les réseaux mobiles ont fait l'objet d'études approfondies. Dans ce chapitre, nous répertorions et discutons certains travaux existants dans la littérature. Nous essayons d'évaluer l'adéquation de ces solutions au streaming vidéo et de les comparer aux solutions que nous proposons dans cette thèse.

Initialement, nous présentons un aperçu détaillé sur le concept moderne de systèmes de transport intelligents. En tenant compte les multiples technologies et protocoles des réseaux automobiles auto-organisés sans fil.

Ensuite, nous définissons le rôle de VANET dans la structure des STI, sa topologie, ses applications, ses défis ainsi que ses principales solutions architecturales pour la mise en place d'un système de sécurité du trafic efficace.

Cependant, la grande majorité des protocoles conçus pour les VANET ne traitent pas la particularité de la transmission de la vidéo.

Pour cela, nous étudions dans la dernière section, les exigences et les applications des transmissions vidéo sur les réseaux ad-hoc véhiculaires.

1.2 Aperçu sur les véhicules connectés

Auparavant, les conducteurs de véhicules devaient contrôler manuellement la majorité des composants de la voiture pour pouvoir conduire en toute sécurité. En fait, des microprocesseurs ont été introduits à l'intérieur des voitures depuis les années 1960 pour améliorer la stabilité de la voiture, la contrôler et apporter de nouvelles fonctionnalités telles que :

Système d'injection à orifice (port injection system), allumage électronique à étincelle, régulateur de vitesse, navigation à l'aide du système de positionnement global (GPS) [17], etc. Le système d'injection de carburant moderne (Modern port fuel injection system) [18] envoie le carburant directement aux cylindres individuels et utilise des capteurs pour détecter le débit d'air, le vide et la température et d'échappement. Electronic Spark Timing (EST) [19] remplace le disjoncteur mécanique dans les voitures plus anciennes afin d'optimiser la synchronisation des étincelles pour un meilleur contrôle des émissions d'échappement et une amélioration de l'économie de carburant. Le système de positionnement global (GPS) a été introduit pour la première fois dans les véhicules militaires avant son utilisation avec une version moins précise dans les voitures privées et de sociétés dans les années 1990. Au cours de la dernière décennie, d'autres composants électroniques ont été intégrés aux véhicules formant un système embarqué complet [20] [21] afin de rendre les voitures plus intelligentes. Aujourd'hui, de nombreuses tâches courantes ont été automatisées. Par exemple, les voitures peuvent être équipées d'un système de direction assistée et d'une boîte de vitesses, d'une ouverture et d'une fermeture automatiques et à distance des portières de la voiture, etc. Le concept et la philosophie de fonctionnement du véhicule connecté reposent sur deux parties principales : premièrement, sur le système intégré à l'intérieur du véhicule lui-même et deuxièmement, sur les technologies et infrastructures de télécommunication. L'interopérabilité entre ces deux parties constitue un système de transport intelligent (ITS) et permet plusieurs fonctionnalités telles que la collecte et le routage des données, le traitement des données et la prise de décision. En effet, le véhicule connecté explore différents types de données telles que : les informations de trafic, les conditions météorologiques, l'état de la route, les alertes d'urgence et plusieurs données d'infotainment. Nous détaillons le système intégré et les technologies de communication dans les sous-sections suivantes.

1.2.1 Les systèmes embarqués

Un système embarqué dans un véhicule connecté comprend divers logiciels et matériels tels que des capteurs, des unités de commande, une interface homme-machine, etc. [21]. Les capteurs mesurent et collectent des informations sur l'état des véhicules et de leur environnement. Nous pouvons trouver différents capteurs dans une voiture moderne tels que le capteur de vitesse pour le verrouillage automatique des portières lorsque le véhicule est en mouvement, le capteur de batterie pour mesurer l'état de charge, le capteur de pluie pour la commutation automatique des essuie-glaces, les capteurs d'humidité et les thermostats dans le moteur pour éviter que la température et l'humidité affecte la performance du moteur [22].

Les unités de contrôle peuvent récupérer et traiter les informations collectées localement ou les envoyer à un serveur distant en fonction du type de données et de l'environnement affecté par ces données.

Certaines informations sont éventuellement stockées dans la mémoire du véhicule. Par exemple, la voiture collecte les informations de conduite lors de différents trajets et les envoie à un serveur distant pour étudier et optimiser le comportement du conducteur lors de ses prochains déplacements. Le système embarqué contient plusieurs unités de contrôle[23], comme le module de contrôle de la carrosserie (BCU) qui contrôle les serrures des portes et des fenêtres, le module de contrôle des freins (BCM) qui permet de maintenir le contact de traction avec la surface de la route en fonction des informations entrées par le conducteur pendant le freinage, l'unité de contrôle du moteur (ECU) et l'unité de contrôle de transmission (Transmission Control Unit) (TCU) qui optimise l'utilisation du moteur à combustion interne pour assurer le meilleur rendement et économiser le carburant, etc.

Le système embarqué du véhicule devient plus avancé. Cela nécessite certaines informations importantes en utilisant l'interface homme-machine (IHM) [24] qui permet au conducteur d'interagir avec son véhicule et de visualiser les performances et l'état du véhicule.

Comme indiqué précédemment, un système d'exploitation de trous a été intégré à la voiture par Google. La voiture sans conducteur (OAA) [25] de Google est une innovation très importante dans le secteur des transports automatisés. Le système facilite la communication entre machine (M2M), le traitement des données et gère efficacement les événements à l'intérieur et à l'extérieur de la voiture pour prévenir les accidents, améliorer la circulation et partager l'information.

En outre, les véhicules connectés doivent parfois réagir en temps réel pour échanger des informations sensibles aux retards, c'est-à-dire que chaque événement signalé doit être traité dans un délai très court. Un retard supplémentaire peut entraîner des incidents dangereux. Prenons l'exemple de la détection d'un piéton traversant la route via une caméra embarquée ; le temps de réaction doit être court pour éviter un accident dramatique. Les composants matériels du système embarqué sont connectés par un réseau de bord, principalement câblé et parfois sans fil.

Les véhicules connectés communiquent entre eux directement ou via des infrastructures supplémentaires.

Nous fournissons ci-dessous plus de détails sur les technologies de communication des véhicules et les modes de communication dans le réseau de véhicules.

1.2.2 LES TECHNOLOGIES ET LES MODES DE COMMUNICATION

Le véhicule connecté vise à fournir une connectivité continue aux conducteurs et aux passagers lors de leurs déplacements. Ainsi, elle utilise des technologies de communication hétérogènes : embedded dans le véhicule pour communiquer entre les composants (microcontrôleurs, capteurs et dispositif) ou à l'extérieur de la voiture pour communiquer avec l'infrastructure ou avec d'autres véhicules. À l'intérieur de la voiture, des communications filaires et sans fil sont utilisées. La figure 1.1 présente les différentes technologies de communication d'un véhicule connecté.

Des Exemples courants des technologies de communication embarquées sont résumés dans le tableau 1.1. Milieu filaire inclut le Réseau d'interconnexion local (LIN)[26], Ethernet[27], FlexRay[28], Contrôleur Réseau régional (CAN)[29], le Transport des systèmes orientés médias (MOST), Domestic Digital data Bus (D2B)[30], etc. Les véhicules utilisent également un support sans fil à l'intérieur de la voiture, tel que Bluetooth [31], Zigbee (802.15.4)[32], Identification par radiofréquence (RFID)[33], etc.

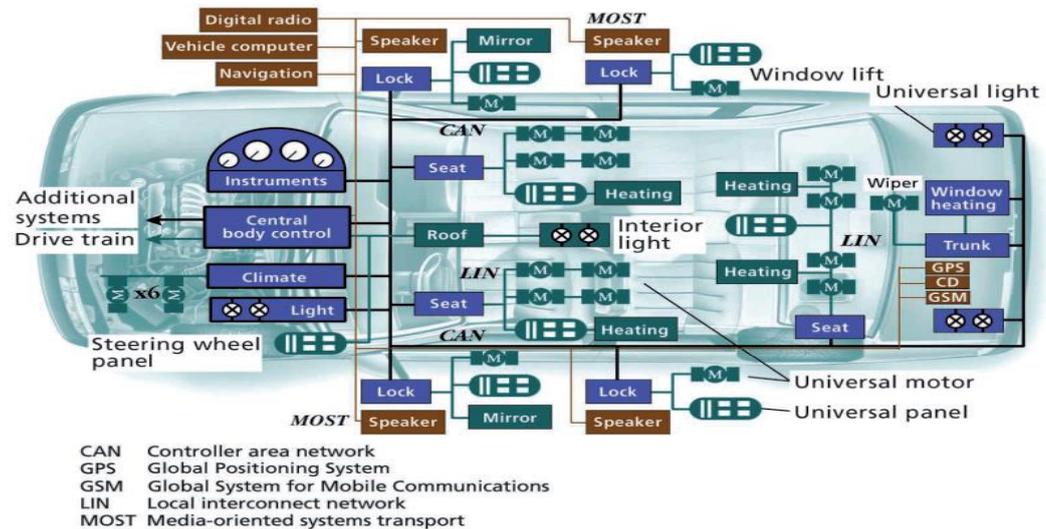


Figure 1. 1 Réseaux de véhicules embarqués

Table 1. 1 Comparaison entre les différentes communications embarquées Technologies

Réseau embarqué	Medium	La vitesse	Usage
Domestic Digital Bus (D2B)	Fibre optique	12 Mbit/s	Transmission audio numérique
Media Oriented Systems Transport (MOST) Transport de systèmes orientés médias	Fibre optique	24,8 Mbit/s	Multimédia: audio, vidéo, contrôle
FlexRay	Bus	10 Mbit/s	Activer des applications avec des débits de données élevés et des contraintes de temps, permettre un système d'amortissement adaptatif rapide, des applications x-by-wire.
Byteflight [28]	Bus	10 Mbit/s	Pré-allouer des emplacements pour les messages critiques
Time-Triggered Architecture (TTA), TTA-Bus [28] Architecture à déclenchement temporel (TTA), TTA-Bus	Bus	20-1000 Kbit/s	Applications critiques pour la sécurité
Bluetooth [31]	Radio waves	1.5 Mbit/s	Multimédia et services à courte portée
CAN [29]	BUS	1 Mbit/s	Prise en compte des signaux de commande du véhicule et communication entre les différents sous-systèmes à l'intérieur de la voiture.

LIN [26]	BUS	20 kbit/s	Permettre un réseau monofilaire à faible coût pour le transfert de données
Ethernet [27]	Connecteur RJ45	10 Mbit/s à 10 Gbit/s	Permettre la communication avec la caméra et transmettre des données multimédia

Pour une couverture étendue, le véhicule connecté utilise les technologies WiFi (802.11.a, b,n)[34], WAVE (802.11p)[35] et WiMAX (802.16)[36] pour communiquer avec les autres voitures ou pour transmettre les données collectées comme les conditions de circulation routière aux serveurs distants. De plus, les technologies 3G[39] et 4G/LTE[40] sont utilisées pour assurer des performances élevées, pour assurer une communication rapide en cas de faible densité du réseau ou pour fournir une qualité de service (QoS) optimale. Ces dernières années, la communication mobile permet de combiner les technologies de communication cellulaire et véhiculaire et d'utiliser chacune d'elle au mieux de ses capacités.

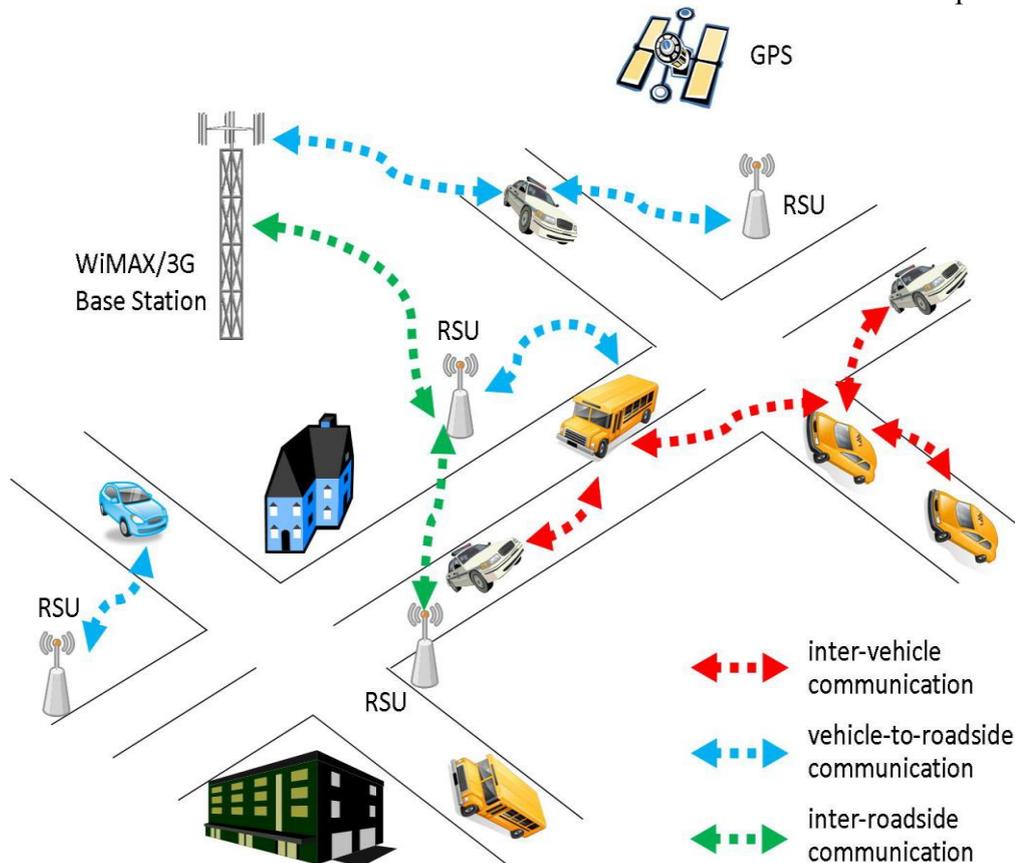


Figure 1. 2 Modes de communication

Les véhicules communiquent selon trois modes de communication, comme le montre la figure 1.2 : (i) Communication entre véhicules (V2V) ou communication intervéhicules (IVC) lorsque le réseau est auto-organisé en réseau ad hoc et que les véhicules communiquent entre eux sans aucun accès à une infrastructure fixe, (ii) Communication véhicule à infrastructure (V2I), il peut utiliser les unités en bord de route (RSU) ou une infrastructure de réseau de télécommunication mobile.

Dans ce mode, les véhicules communiquent uniquement via l'infrastructure qui permet d'acheminer l'information jusqu'à la destination finale, et (iii) la communication hybride (véhicule à X (V2X)) où les véhicules peuvent communiquer avec les deux autres véhicules de la même couverture ou avec une infrastructure fixe.

Le tableau 1.2 montre le positionnement relatif des principales technologies candidates en fonction de critères macroscopiques.

Table 1. 2 Comparaison entre les différentes technologies des principaux candidats

Caractéristiques sans fil	Technologies			
	802.11p WAVE	WIFI	Cellulaire	Infrarouge
Débit binaire (Bit rate)	3–27 Mb/s	6–54 Mb/s	<2 Mb/s	<1 Mb/s, <2 Mb/s
Portée de communication	<1000 m	<100 m	<15 km	<100 m (CALM IR)
Puissance de transmission pour un maximum mobile)	760 mW (US), 2 W EIRP (EU)	100 mW	2000 mW (GSM), 380 mW (Universal Mobile Telecommunications System (UMTS))	12800 W/Sr pulse peak
Bande passante du canal	10 MHz 20 MHz	1–40 MHz	25 MHz (GSM), 60 MHz (UMTS)	NA (optical carrier)
Spectre alloué	75 MHz (US), 30 MHz (EU)	50 MHz @ 2.5 GHz, 300 MHz @ 5 GHz	(Operatordependent)	N/A (optical carrier)
Aptitude à la mobilité	High	Low	High	Medium
Bandes de fréquence	5.86–5.92 GHz	2.4 GHz, 5.2 GHz	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz	835–1035 nm
Standards	IEEE, ISO, ETSI	IEEE	ETSI, 3GPP	ISO

1.3 Buts et objectifs des STI

Le développement de véhicules modernes est déjà impensable sans l'utilisation de systèmes de transport intelligents (ITS), dont la tâche principale était d'organiser l'échange d'informations entre véhicules (CU), afin de fournir aux usagers de la route les informations nécessaires pour éviter les incidents de circulation. La solution à ce problème particulier a commencé à attirer de plus en plus l'attention de la communauté scientifique depuis la fin du 20ème siècle.

Comme vous le savez, les progrès ne sont pas immobiles, car avec le temps, les changements ont affecté la compréhension même des STI. Si, au départ, les STI étaient uniquement considérés comme un moyen d'accroître le niveau de sécurité dans les transports terrestres, l'analyse subséquente des principaux problèmes posait à la communauté scientifique la nécessité d'élargir la fonctionnalité [41]. En outre, ce processus devait tenir

compte à la fois des buts et objectifs de nombreux représentants de l'industrie automobile et des tendances actuelles du développement du marché des télécommunications. Il est évident que l'harmonisation du processus d'élaboration de normes et de recommandations dans le domaine des STI est inconcevable sans une interaction étroite des spécialistes des deux domaines. Dans le cadre de ce processus d'interaction, la sélection et la hiérarchisation des problèmes appliqués résolus ont été effectuées, avec formation ultérieure de directions de recherche distinctes. À l'avenir, dans chacun de ces domaines, des groupes de travail ad hoc ont été créés dans le cadre des organisations de normalisation. À ce jour, ils participent à l'élaboration de normes et à leur harmonisation au niveau international.

Aujourd'hui, dans le cadre du concept ITS, des orientations de développement d'objectifs bien définies ont été définies, adoptées pour la recherche et le développement [42, 43, 44, 45]. Parmi eux, il convient de noter, tels que :

- des systèmes de contrôle des moyens fixes d'information des usagers de la route ;
- des systèmes de contrôle des moyens de régulation des flux de trafic ;
- systèmes d'organisation des voyages prioritaires ;
- des systèmes de diagnostic automatisé des véhicules ;
- systèmes de gestion de trafic autonomes ;
- systèmes de navigation intelligents ;
- systèmes de paiement automatisés ;
- systèmes d'aide aux voyageurs ;
- systèmes de surveillance des accidents de la circulation ;
- des systèmes de surveillance de l'état de la surface de la route ;
- Un certain nombre de systèmes pour soutenir des modes de transport respectueux de l'environnement (véhicules électriques).

L'objectif global d'une telle tendance de développement peut être formulé comme la création d'un système intégré pour la fourniture de services, l'organisation de l'interaction, ainsi que le contrôle et la gestion des flux de trafic afin d'améliorer l'efficacité du processus de transport.

Une telle nature intégrée des STI ne peut être réalisée que par l'utilisation d'approches novatrices liées à l'utilisation des technologies de pointe et par les développements avancés dans le domaine des systèmes d'information, des réseaux de capteurs, des contrôleurs, des méthodes d'interaction et des méthodes d'optimisation mathématique [45, 46, 47]. La combinaison de ces approches vous permet d'atteindre un indicateur clé, tel que la stabilité de la fourniture de services de base dans des conditions de forte mobilité des objets cibles du système. De plus, cet indicateur est fondamental pour les services liés à la sécurité et les services commerciaux.

Les problèmes modernes résolus dans le cadre du concept de STI peuvent être formulés comme suit [48, 49] :

- Transfert de la sécurité routière à un niveau qualitativement nouveau ;
- Assurance de rapidité de réaction aux accidents, ainsi qu'aux incidents, qu'ils soient

d'origine naturelle ou provoqués par l'homme, présentant un danger pour les usagers de la route ;

- Optimisation de la capacité des infrastructures de transport existantes ;
- Amélioration de la qualité des services de transport fournis par les transports en commun ;
- La mise en place d'une infrastructure d'information afin de soutenir les systèmes de planification et le développement des infrastructures de transport ;
- Contrôle de l'état technique du réseau de transport existant ;
- Veille au respect des règles de circulation ;
- Automatisation des processus de paiement électronique dans les transports ;
- Augmentation du niveau de support d'information pour les usagers de la route ;
- Réduction des effets néfastes des transports sur l'écosystème.

1.4 Normes et recommandations dans le domaine des STI

L'aspect le plus important de la compatibilité de toute technologie aux niveaux national, inter-États et international est la normalisation de la composition, des interfaces d'interaction, des structures de données et des systèmes de contrôle. En ce qui concerne les STI, les domaines de normalisation indiqués acquièrent une gradation supplémentaire entre urbain et principal en fonction du domaine d'application. Chacune de ces zones nécessite ses propres approches de la construction et ses paramètres de fonctionnement. La réglementation de l'introduction de technologies STI dans divers pays n'est pas moins intéressante. Il est inextricablement lié à la nécessité de prendre en compte des facteurs tels que :

- Spécificités de la distribution du spectre des fréquences radioélectriques ;
- Caractéristiques de l'infrastructure existante ;
- Exigences réglementaires.

Cependant, les taux élevés de développement de l'industrie automobile ont dicté l'émergence parallèle d'un intérêt actif pour l'organisation des STI dans le monde entier. Dans cet esprit, plusieurs organisations ont commencé à élaborer des normes dans ce domaine du développement des technologies de l'information avec un certain décalage dans le temps. La liste de ces organisations est présentée sous forme d'organigramme à la figure 1.3.



Figure 1. 3 Organismes d'élaboration de normes STI

L'origine de la normalisation du domaine des STI peut être considérée en 1992, année de la création du Comité technique 204 « Systèmes de transport intelligents » (ISO / TC 204 Systèmes de transport intelligents) dans le cadre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO). Ce comité est chargé de la normalisation des systèmes d'information, des systèmes d'interaction et de la gestion des transports terrestres urbains et ruraux [50]. Au cours du processus de développement, au sein du comité, 16 groupes de travail ont été créés, chargés de mener des recherches et de normaliser les domaines énumérés dans le tableau 1.3.

Table 1. 3 Composition du comité ISO / TC 204

Groupe de travail	Direction de la normalisation
ISO/TC 204/WG 1	Architecture d'ITS
ISO/TC 204/WG 3	Technologies de base de données ITS
ISO/TC 204/WG 4	Automatisation du véhicule et l'identification de l'équipement
ISO/TC 204/WG 5	Perception des frais
ISO/TC 204/WG 7	Gestion générale de fret commerciale
ISO/TC 204/WG 8	Transports en commun et véhicules d'urgence
ISO/TC 204/WG 9	Gestion et contrôle des Informations du transport intégrées
ISO/TC 204/WG 10	Système information des voyageurs
ISO/TC 204/WG 14	Systèmes de contrôle et d'avertissement routier
ISO/TC 204/WG 16	Méthodes d'interaction
ISO/TC 204/WG 17	Interaction des systèmes ITS avec des appareils mobiles personnels
ISO/TC 204/WG 18	Combinaisons des ITS

Comité européen de normalisation (Comité européen de normalisation, CEN). Dans la même année 1992, le CEN a commencé à élaborer des normes pour les STI en Europe. À cet effet, dans le cadre du comité, 17 groupes de travail ont été créés pour mener des recherches et normaliser dans les domaines énumérés au tableau 1.4 [51].

Table 1. 4 Composition du comité CEN / TC 278

Groupe de travail	Direction de la normalisation
CEN / TC 278 / WG 1	Perception des frais
CEN / TC 278 / WG 2	Transport de marchandises
CEN / TC 278 / WG 3	Transport en commun
CEN / TC 278 / WG 4	Informations sur la circulation et les voyageurs

CEN / TC 278 / WG 5	Gestion du trafic
CEN / TC 278 / WG 6	Service de parking
CEN / TC 278 / WG 7	Échange de données entre les services routiers et divers services de cartographie
CEN / TC 278 / WG 8	Gestion du trafic. Organisation des interactions entre le GT3 et le GT4
CEN / TC 278 / WG 9	DSRC
CEN / TC 278 / WG 10	Interaction homme-machine
CEN / TC 278 / WG 11	Interfaces entre systèmes et sous-systèmes
CEN / TC 278 / WG 12	Identification du véhicule
CEN / TC 278 / WG 13	Architecture des STI
CEN / TC 278 / WG 14	Recherche des véhicules volés
CEN / TC 278 / WG 15	Gestion d'impact environnemental du véhicule (eSafety)
CEN / TC 278 / WG 16	Combinaisons de divers ITS
CEN / TC 278 / WG 17	STI urbain

Outre le CEN, d'autres membres des organisations européennes de normalisation (ESO) ont été impliqués dans le développement de normes relatives au domaine des STI en Europe. Afin de former une approche unifiée du déploiement des systèmes STI en Europe conformément à la directive du Conseil de l'Europe et du Parlement européen (directive 2010/40 / UE) [52], La Commission européenne a demandé aux participants de l'ISO de soutenir le cadre élaboré dans le cadre du mandat (ECM/ 453) [53]. Ce mandat régit l'élaboration dans les plus brefs délais de spécifications techniques et de recommandations dans les domaines de l'interaction, de la structure de données, des types d'applications et de la sécurité. Cependant, le Comité européen de normalisation électrotechnique (Comité européen de normalisation électrotechnique, CENELEC) a refusé d'accepter le mandat et a donc cessé de développer des normes dans ce domaine. Le CEN et l'ETSI ont commencé à élaborer une série de normes et de spécifications techniques portant le code EN [41].

Institut européen de normalisation des télécommunications (ETSI) [54]. L'ETSI, après avoir conclu un accord de collaboration avec le CEN dans le cadre du mandat CE M / 453, a commencé à publier des normes européennes communes pour l'intégration de divers STI (coopérative-ITS, C-ITS), afin d'assurer l'interaction des modules de différents fabricants de TS et de RSU. La première version a été publiée en 2014. En outre, l'ETSI a entamé des travaux visant à réduire les interférences entre les équipements européens DSRC CEN et ITS.

Par la suite, également en 2014, l'ETSI a publié deux autres spécifications pour les STI liées aux services. La première spécification est la spécification de services d'information communs (EN 302 637-2) [55]. Il régit les méthodes et les technologies d'interaction de l'information des classes V2V, V2I, I2V et I2I, qui constituent la base de la mise en œuvre de la fonction de sécurité du trafic dans les STI. De plus, cette spécification décrit la syntaxe et la sémantique des messages, à l'aide desquels l'interaction entre les objets ITS est effectuée. La deuxième spécification est la spécification des services pour les informations décentralisées de l'environnement (EN 302 637-3) [56]. Le principe essentiel de ce service est l'organisation de la transmission d'avertissements concernant les dangers pouvant survenir à proximité ou les modifications du mode de déplacement. L'avertissement est transmis à l'UAI la plus proche, puis à tous les véhicules en approche. À la réception du message, l'application sur l'OBUE fait des suggestions sur les méthodes de réaction possibles pour le conducteur.

La combinaison des comités techniques du CEN et de l'ETSI, ainsi que l'interaction étroite avec les principaux acteurs de l'industrie automobile, ont accéléré le développement de normes uniformes pour les STI en Europe. Afin de poursuivre leur développement, l'Union européenne a financé des projets tels que eCoMove, Drive C2X et COMeSafety [57, 58], qui sont les plus gros consommateurs de normes STI. Les groupes fonctionnels ERTICO - ITS

Europe, le groupe d'Amsterdam et la Car 2 Car Communication Association ont permis d'interagir avec les fabricants d'équipements d'infrastructure afin de tenir compte de leurs capacités en matière de création de normes. Parallèlement, pour assurer la compatibilité au niveau international, des interactions ont été organisées avec des organisations telles que ISO, IEEE et SAE [41].

Union internationale des télécommunications (UIT). Avec l'ISO et la CEI, l'UIT est un organisme de normalisation reconnu. La création de normes internationales pour les STI au sein de l'UIT s'articule autour de la création d'équipes opérationnelles conjointes avec l'ISO. Une telle interaction permet de réduire le temps nécessaire au lancement sur le marché mondial des produits de communication les plus performants et compatibles d'objets ITS [54].

Association de normalisation de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (Association de normalisation de l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens, IEEE-SA). IEEE-SA est une organisation basée sur IEEE qui développe des normes mondiales pour un large éventail d'industries. Ainsi, l'un des domaines de la normalisation dans lequel l'IEEE joue un rôle important est celui des STI. L'élaboration de normes dans ce domaine est le travail du groupe de travail IEEE 802.11. Le début des travaux sur le développement des premières versions de la norme remonte à 2005. Au cours des quatre dernières années, ce groupe de travail a publié 10 versions de la norme IEEE 802.11p, tandis qu'en juillet 2010, la version finale numérotée 11 n'avait pas été adoptée à la majorité des voix.

Cette norme spécifie la structure et le format des données des couches de liaison (MAC) et physique (PHY), ainsi que les caractéristiques de la mise en œuvre du mécanisme permettant de hiérarchiser les différents types de trafic.

La famille de normes IEEE 1609 de la norme IEEE s'appelle WAVE (Wireless Access in Automobile Environments). Il définit l'architecture, les services et les interfaces d'interaction du type V2V et V2I pour les systèmes de sécurité du trafic [59]. Ensemble, ces normes constituent la base d'un large éventail d'applications de transport. Parmi eux, tels que : les applications liées à la sécurité du trafic, les applications d'automatisation du paiement, les applications de navigation, les applications de contrôle et de gestion du trafic, et bien d'autres. Au total, la famille WAVE a sept normes :

IEEE 1609.0-2013 - Guide IEEE pour l'accès sans fil en environnement automobile (WAVE) - Architecture. Décrit l'architecture et les services WAVE requis pour l'interaction de périphériques DSRC / WAVE multicanaux [60].

IEEE 1609.1-2006 - Gestionnaire de ressources. Spécifie les interfaces et les services du gestionnaire de ressources fournis par les applications WAVE. Cette norme définit la structure et le format des flux de données dans les systèmes WAVE. À ces fins, il définit le format des messages de contrôle et une liste de réponses possibles, ainsi que le format de données à utiliser par les applications pour organiser les interactions entre les composants individuels du système. En outre, il définit les formats des demandes et des messages d'état [61].

IEEE 1609.2a-2017 - Il s'agit de la norme qui définit les mécanismes permettant d'assurer la sécurité des interactions entre les objets du système WAVE. Pour cela, le format des messages de sécurité est spécifié, les circonstances dans lesquelles les données sont échangées, ainsi que les options permettant au système de répondre à ces messages, en fonction des conditions de réception. La norme définit également les mécanismes d'échange de certificats. En général, la mise en œuvre de mécanismes de sécurité pour l'interaction des objets WAVE est basée sur des principes de base tels que la confidentialité, l'authentification,

l'autorisation et l'intégrité [62].

IEEE 1609.3-2016 - Norme IEEE pour l'accès sans fil dans les environnements automobiles (WAVE) - Services de mise en réseau. Cette norme définit les services de transport et de réseau, y compris l'adressage, le routage et la prise en charge des connexions sécurisées. La norme définit également la manière dont les applications prennent en charge le protocole IPv6 et le protocole de message court (WAVE Short Message Protocol, WSMP) comme alternative à la pile TCP / UDP / IPv6. De plus, une base d'informations de gestion (MIB) et une commande de liaison logique (LLC) [63] sont spécifiées.

IEEE 1609.4-2016 - Norme IEEE pour accès sans fil (WAVE) - Fonctionnement multicanal. Cette norme décrit la structure de la liaison de données de niveau standard IEEE 802.11 avancée dans le but et l'objectif de WAVE. Il spécifie le fonctionnement des applications WAVE dans un environnement multicanal, ainsi que la méthode de contrôle d'accès aux canaux, qui prévoit la distribution des paquets sur les canaux requis aux moments requis dans le temps [64].

IEEE 1609.11-2010 - Norme IEEE pour les systèmes d'accès sans fil (ITS). Le but de cette norme est de définir les services et le format des messages sécurisés pour les systèmes de paiement électronique. La norme décrit le modèle d'interaction des services et profils d'application pour l'authentification du paiement et le processus de transfert des informations de facturation, telles que les informations de compte, les reçus, les chèques et la confirmation des transactions, via le DSRC. Cela implique que l'interaction entre les équipements se produit conformément aux normes IEEE 1609.3 et IEEE 1609.4 [65].

IEEE 1609.12-2016 - Norme IEEE pour l'accès sans fil dans les environnements automobiles (WAVE) - Allocations d'identifiants. Certains identificateurs sont utilisés dans différentes parties de la famille de normes IEEE 1609. Les moyens d'attribution de ces identificateurs, ainsi que leur utilisation, sont décrits dans cette norme [66]. Société des ingénieurs de l'automobile (Society of Automotive Engineers, SAE). Les recommandations formulées par des organisations telles que SAE ne constituent pas un mince rôle dans l'élaboration des STI. Parmi ceux-ci, notons SAE J2365 - recommandation de calcul du temps de navigation et de routage, SAE J2678 - recommandation de disponibilité des systèmes de navigation et de routage en cours de route, SAE J2945 - recommandation d'utilisation de DSRC et bien d'autres.

Association des industries et des entreprises de la radio (Association des industries et des entreprises de la radio, ARIB). Au Japon, l'ARIB est le leader en matière de création de normes pour les STI. Sa norme ARIB STD-T55, déjà en 1997, réglementait les règles de construction d'une architecture ITS et de méthodes d'interaction intra systèmes basés sur le DSRC. Plus tard, en 2001, l'association a publié une norme d'application DSRC mise à jour, ARIB STD-T75. Il a également spécifié les paramètres d'interface radio entre l'OBU et le RSU. La norme ARIB STD-T88 (sous-couche d'application de communication dédiée à courte portée (DSRC)), publiée en 2004, a été développée pour élargir la liste des méthodes d'interaction dans les systèmes DSRC, afin de prendre en charge la multiplicité d'applications décrites dans la norme ARIB STD-T75 [41]. La norme ARIB STD-T110, publiée en décembre 2012, identifiait six interfaces d'application principales pour l'organisation de l'interaction de type I2V au sein de systèmes DSRC. Ces interfaces étendent les fonctionnalités du protocole DSRC. Ils vous permettent d'implémenter l'interaction de plusieurs types d'applications non IP avec des fonctionnalités différentes avec les stations de base, telles que définies dans ARIB STD-T75 et ARIB STD-T88.

1.4.1 Normes de VANET

Les principaux groupes de normalisation (IEEE, IETF et ISO) et consortiums (C2C-CC) définissent les normes pour les communications entre véhicules. En Amérique du Nord, la Federal Communication Commission (FCC) a défini une nouvelle norme pour les réseaux VANET qui s'appelle Dedicated Short Range Communication (DSRC) [3],[4]. Cette norme attribue un spectre de 75 MHz dans une largeur de bande de 5,9 GHz pour l'exécution des communications de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I). En DSRC, la portée et le débit de transmission définis sont respectivement de 10-1000 m et 3-27 Mbps. L'accès sans fil dans un environnement véhiculaire (WAVE) est utilisé dans la norme DSRC pour générer une norme pour la performance des communications des VANET dans les couches PHY et MAC. WAVE est composé de deux protocoles du standard IEEE dont les protocoles IEEE 802.11p et IEEE 1609 qui sont définis pour gérer les services réseau, les ressources, les services de sécurité et les opérations multicanaux, et ainsi de suite [59]-[67], [55].

IEEE 802.11p est un protocole qui spécifie les fonctionnalités du protocole IEEE 802.11 dans les couches PHY et inférieure des couches MAC afin de transférer des données dans des environnements véhiculaires. Ce protocole utilise un protocole de couche MAC basé sur un accès multiple avec évitement de collision (CSMA / CA) par analyse de porteuse pour la diffusion de données dans des VANET.

Le protocole *IEEE 1609* gère les fonctions opérationnelles et les complexités de la performance du DSRC. L'IEEE 1609.1 est défini dans des couches d'application pour gérer les activités des applications afin d'établir des interactions entre les OBU et les autres ressources réseau. En effet, l'IEEE 1609.1 normalise le fonctionnement des applications VANET basées sur le standard WAVE. IEEE 1609.2 assure la sécurité dans WAVE en définissant des formats sécurisés pour les messages et en effectuant le traitement sécurisé des messages. IEEE 1609.2 assure également la sécurité de l'échange de messages. IEEE1609.3 est défini dans la couche réseau pour le routage et l'adressage des messages. Enfin, IEEE1609.4 réside dans la partie supérieure de la couche MAC qui fournit les opérations multicanaux dans VANET et gère les opérations des couches supérieures sans tenir compte des paramètres physiques des canaux des couches inférieures. L'architecture du standard WAVE est démontrée dans [41], [67].

DSRC considère huit canaux pour le transfert des différents messages générés par les applications de sécurité et les applications non sécuritaires. Ces canaux comprennent six canaux de service (SCH) pour les applications non liées à la sécurité, un canal de commande (CCH) pour les communications de sécurité et un canal réservé pour les utilisations futures. Le canal de commande est utilisé pour le transfert de messages de sécurité hautement prioritaires, y compris les messages d'urgence (déclenchés par un événement) et les messages de balise. Les canaux de service sont utilisés pour transférer les messages non sécuritaires de faible priorité. La largeur de bande de chaque canal de commande et de service est de 10MHz alors que la largeur de bande du canal réservé est de 5MHz [67]-[55]-[68]-[74].

Le temps universel coordonné (UTC) est utilisé pour synchroniser les véhicules afin de pouvoir fonctionner dans un seul émetteur-récepteur multicanal dans des environnements VAN.

L'UTC fonctionne sur la base des informations obtenues à partir du GPS ou d'autres véhicules environnants. L'heure de chaque véhicule est réglée en fonction de l'UTC pour la commutation synchrone entre les canaux de commande et de service. Cependant, le délai de commutation périodique entre les canaux de commande et de service est élevé [69]-[70].

C2C-CC, qui est un projet de recherche pour la communication véhiculaire en Europe, vise à établir une norme européenne ouverte pour les communications V2V et V2I. C2C-CC définit des prototypes pour fournir des normes de communication harmonisées pour les véhicules dans le monde entier. Selon C2C-CC, le protocole IEEE 802.11p a été modifié pour fonctionner selon les conditions européennes.

Les applications non sécuritaires utilisent les couches TCP/UDP et 802.11a/b/g (GPRS/UMTS).

1.5 Architecture de STI

Malgré le travail considérable accompli en matière de normalisation dans le monde entier, il n'est pas possible de brosser un tableau détaillé de l'architecture du système universel. Cela est dû au fait que la mise en œuvre pratique des systèmes est étroitement liée aux buts et objectifs de chaque région séparément. La liste des technologies choisies à cette fin est également déterminée par des facteurs locaux, tels que la disponibilité des appareils et des capteurs, ainsi que par la présence de compétences dans le domaine de la mise en œuvre. En conséquence, la nature complexe des STI acquiert déjà une structure globalement hétérogène.

Cependant, même en tenant compte de ces différences, l'intégration de sous-systèmes régionaux dans le but de créer un STI global reste la principale orientation du développement. La principale condition préalable est la nature des objets de contrôle, qui consistent en une grande mobilité du véhicule. Compte tenu de la capacité de la CU à passer d'une région à l'autre, il est évident que, malgré la mise en œuvre privée de la partie infrastructure, les STI ne devraient pas perdre leurs fonctionnalités globalement. Cela signifie que les interfaces I2V (infrastructure à véhicule) et I2I (infrastructure à infrastructure) doivent être mises en œuvre conformément aux normes internationales. En conséquence, dans les normes modernes, au lieu d'essayer de décrire l'architecture globale des STI, des modèles d'interaction d'objets individuels et de sous-systèmes complets répondant aux exigences des réglementations techniques généralement acceptées sont donnés. Le modèle généralisé de l'interaction des objets dans le système de transport, décrit dans la norme ETSI EN 302 665, est présenté à la figure 1.4 [43].

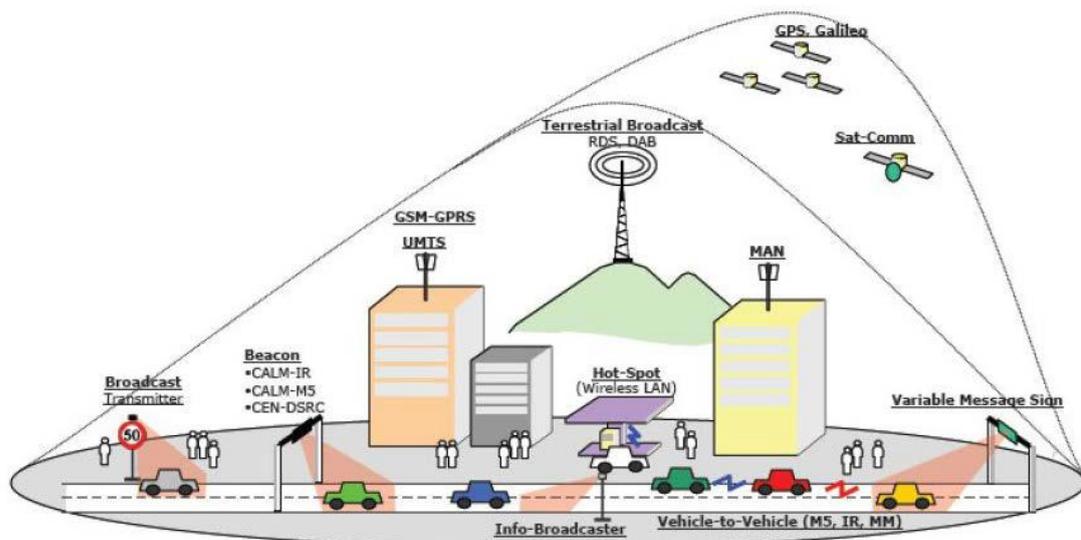


Figure 1. 4 Modèle d'interaction généralisé pour les STI.

Compte tenu de la spécificité des systèmes de transport, d'un large éventail de technologies utilisées et des différences entre les exigences régionales, lors de l'élaboration des normes d'interaction et de la formation d'approches architecturales uniformes pour la construction des STI, il est nécessaire de prendre en compte les aspects essentiels suivants :

- La mobilité des nœuds du réseau, entraînant une dynamique élevée des changements de topologie ;
- La possibilité de prendre en charge tout type de technologie de communication ;
- La possibilité de prendre en charge tout type d'applications, y compris telles que [71, 72, 73, 62] :
 - Conçu spécifiquement pour les STI ;
 - Utiliser l'infrastructure des STI comme un tunnel transparent, dans le but de transférer ses propres données ;
 - Utiliser les stations ITS exclusivement pour l'organisation d'interactions internes entre appareils connectés.
 - Utiliser les stations ITS exclusivement pour l'organisation d'interactions internes entre appareils connectés.
- La possibilité d'une adaptation rapide et flexible aux besoins des utilisateurs en termes de bande passante, de disponibilité d'un canal de communication, de fiabilité des connexions, de sécurité des canaux de communication et de coût (dans le cas de services commerciaux) ;
- La disponibilité de mécanismes efficaces de priorisation pour différentes classes d'applications ;
- La possibilité de soutenir l'interopérabilité des applications et des technologies de communication, en tenant compte des différences dans les exigences en matière de fonctionnalité STI dans différentes régions ;
- Prise en charge du principe de construction modulaire avec la possibilité d'accroître la fonctionnalité des stations ITS en installant des cartes d'extension supplémentaires ;
- Soutenir les services de profilage ;
- Applicabilité et évolutivité globales.

Tenant compte de la liste des aspects de la mise en œuvre de l'architecture la plus flexible qui a été formée au cours de l'évolution des STI, la norme ETSI EN 302 636-3 fournit les principes de base pour la construction d'architecture au niveau du sous-système. Il présente un modèle de réseau de l'interaction des stations ITS entre elles, ainsi que des stations ITS et des sous-systèmes externes [75]. La normalisation au niveau des stations ITS individuelles est réalisée sous la forme d'une architecture de référence généralisée de nœuds représentée par des blocs fonctionnels interconnectés, avec une description de leur objectif principal [43, 73, 76].

1.5.1 Architecture de réseau

L'architecture du réseau comprend des réseaux externes et internes. Les réseaux externes interconnectent les stations ITS ou connectent les stations ITS à d'autres instances. Les réseaux externes suivants sont identifiés :

- Réseau ad hoc ITS.
- Réseau d'accès (réseau d'accès ITS, réseau d'accès public, réseau d'accès privé).
- Réseau central (par exemple, Internet).

De plus, une station ITS peut avoir un réseau interne qui interconnecte les composants de la station ITS.

Les différents réseaux doivent prendre en charge divers cas d'utilisation de la sécurité routière, de l'efficacité du trafic, de l'infodivertissement et des applications commerciales. Cependant, il est présumé que la communication au sein d'un même réseau ne répond pas à toutes les exigences de toutes les applications et de tous les cas d'utilisation. On envisage plutôt des combinaisons de réseaux, dans lesquels plusieurs technologies d'accès et de réseau sont appliquées.

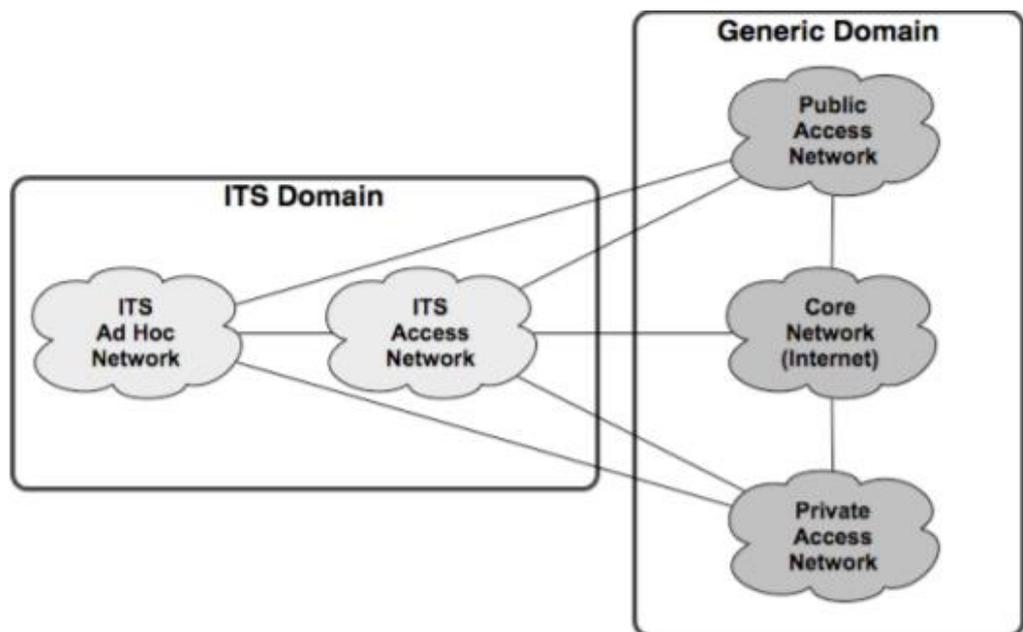


Figure 1. 5 Réseaux externes impliqués dans l'architecture ITS et leurs interconnexions

La figure 1.5 représente le niveau d'abstraction le plus élevé de l'architecture de réseau ITS, à laquelle les réseaux externes représentés par des nuages sont connectés. Les réseaux peuvent être classés en un domaine ITS et un domaine générique comme spécifié dans [59]. Les réseaux externes peuvent être décrits comme suit :

Le réseau ad hoc ITS permet une communication ad hoc entre stations STI de véhicules, routières et personnelles. La communication est basée sur des technologies sans fil, qui fournissent généralement une portée de communication limitée (appelée « technologie sans fil à courte portée ») et permettent la mobilité des stations ITS formant des topologies de réseau arbitraires sans nécessiter une infrastructure de communication coordonnée. Un exemple de réseau ad hoc ITS est un réseau de stations ITS de véhicules, routières et

personnelles interconnectées par la technologie sans fil ITS-G5 [77].

En règle générale, un réseau d'accès permet aux stations ITS d'accéder aux réseaux.

Un réseau d'accès ITS est un réseau dédié donnant accès à des services et applications ITS spécifiques et pouvant être exploité par un opérateur de voirie ou un autre opérateur. Le réseau d'accès ITS relie également les stations ITS situées au bord de la route et assure la communication entre celles-ci ainsi qu'entre les stations ITS de véhicules par l'intermédiaire des stations ITS situées au bord de la route qui sont interconnectées dans le réseau d'accès ITS. Ce réseau local peut alors permettre aux stations ITS du véhicule de communiquer via un réseau de communication d'infrastructure en bordure de route plutôt que directement en mode ad hoc. Par exemple, un accès ITS

Le réseau peut relier des stations ITS situées le long d'une route à une station ITS centrale (par exemple, un centre de gestion du trafic routier). Dans le cas où la technologie sans fil à courte portée est utilisée pour la communication via des stations ITS situées en bordure de route, la connectivité au réseau d'accès ITS est généralement fournie par intermittence.

Un réseau d'accès public fournit un accès à des réseaux polyvalents accessibles au public. Un exemple est un réseau IMT-2000 [i.4] qui connecte les stations ITS des véhicules à Internet et fournit un accès Internet mobile.

Un réseau d'accès privé, par opposition à un réseau d'accès public, fournit des services de données à un groupe d'utilisateurs fermé pour un accès sécurisé à un autre réseau. Par exemple, un réseau d'accès privé peut connecter des stations ITS de véhicules à l'intranet d'une entreprise.

Les réseaux d'accès et le réseau central fournissent l'accès à divers services :

- Services existants, tels que WWW, courrier électronique et bien d'autres ;
- Services STI fournis par les centres de gestion du trafic routier et les services d'arrière-plan ;
- Services d'appui opérationnel aux STI requis pour l'exploitation des STI, tels que les services de sécurité.

Le composant principal de l'architecture est la station ITS, qui remplit deux rôles principaux : Dans son premier rôle, la station ITS est un nœud de réseau et joue le rôle de source ou de puits de communication. De même, une station ITS peut être un expéditeur de données, par ex. dans le réseau ad hoc ITS. Dans son deuxième rôle, la station ITS est placée à la périphérie du réseau et connecte les différents réseaux via un réseau interne à la station ITS (voir la Figure 1).

Les stations STI doivent pouvoir communiquer via au moins l'un des moyens suivants (voir la Figure 2) :

- a. Via un réseau ad hoc ITS ;
- b. Via un réseau d'accès ITS ;
- c. Via un réseau d'accès public ;
- d. Via un réseau d'accès privé ;
- e. Via l'un des réseaux d'accès au réseau central (par exemple, Internet).

Outre les réseaux énumérés ci-dessus, une station ITS peut également être rattachée à des réseaux locaux exclusifs, par exemple. Sous-systèmes ITS de véhicule et sous-système ITS en bordure de route, présentés dans [59]. Des exemples typiques sont :

- Contrôleur de réseau (CAN) dans un sous-système ITS du véhicule.
- Infrastructures routières existantes dans un sous-système STI en bordure de route.

Cependant, ces réseaux propriétaires sortent du cadre du présent document.

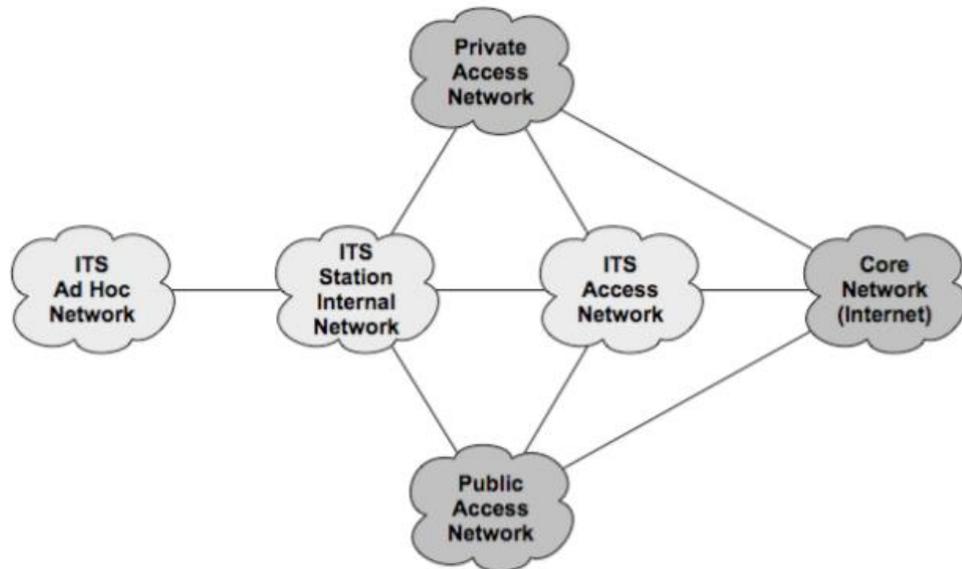


Figure 1. 6 : Architecture du réseau de haut niveau

Chaque structure de réseau formée à partir de stations ITS a pour objectif de mettre en œuvre un support pour les applications liées à la résolution d'au moins une des tâches de base. Ces tâches incluent l'organisation de la sécurité routière, l'efficacité de la gestion de trafic, la fourniture de contenu d'infotainment et la maintenance d'applications commerciales. Toutefois, l'interaction au sein d'un même réseau ne peut pas fournir l'ensemble des fonctionnalités ITS. À cet égard, les réseaux individuels sont combinés dans une architecture de réseau intégrée, comme illustré à la figure 1.6 [74].

Son réseau ad hoc permet à l'ITS de communiquer entre eux, ainsi qu'avec le RSU et les appareils mobiles personnels. Cette interaction est réalisée à l'aide de technologies de communication sans fil et permet aux nœuds de former leur propre topologie de réseau arbitraire sans recourir à la gestion de l'infrastructure. ITS-G5, décrit dans la norme EN 302 663 [42] ou WAVE (Accès sans fil en environnement) basé sur la série de normes IEEE 1609 [60], est une technologie sans fil permettant la création de tels réseaux. Un réseau d'accès ITS est un réseau dédié qui fournit un accès à des applications ou à des services spécifiques pouvant être mis en œuvre et gérés par des opérateurs de réseau locaux ou des services routiers. Les tâches de ce réseau consistent notamment à connecter des RSU individuelles les unes aux autres afin de garantir une interaction entre elles, ainsi qu'entre des OBU connectés à des données RSU. Un réseau d'accès ITS peut également être utilisé pour connecter des RSU réparties sur le long du réseau routier à la station ITS centrale. La formation d'une telle architecture de réseau permet d'organiser la transmission de données entre les OBU via l'infrastructure locale, plutôt que directement en mode ad hoc. Toutefois, dans le cas de

l'utilisation de technologies de communication à courte distance pour la connexion à la RSU, la session d'échange de données avec les services devient intermittente. Le réseau public fournit un accès aux réseaux publics ouverts. Par exemple, via ce réseau, un accès Internet pour les OBU et les appareils mobiles personnels connectés aux OBU peut être fourni. Un réseau à accès restreint, contrairement à un réseau à accès public, est destiné à servir des groupes restreints de personnes en leur fournissant des services de connexion sécurisée. Par exemple, ces services peuvent être utilisés pour fournir un accès à des segments de sociétés privées d'un réseau de sociétés privées.

1.5.2 La structure de la station ITS standard

Tout sous-système ITS est construit sur la base de stations ITS interconnectées. À son tour, chaque station est constituée d'un ensemble de composants qui interagissent les uns avec les autres via un réseau interne, comme le montre la figure 1.7.

La figure 1.7 illustre l'architecture du système VANET

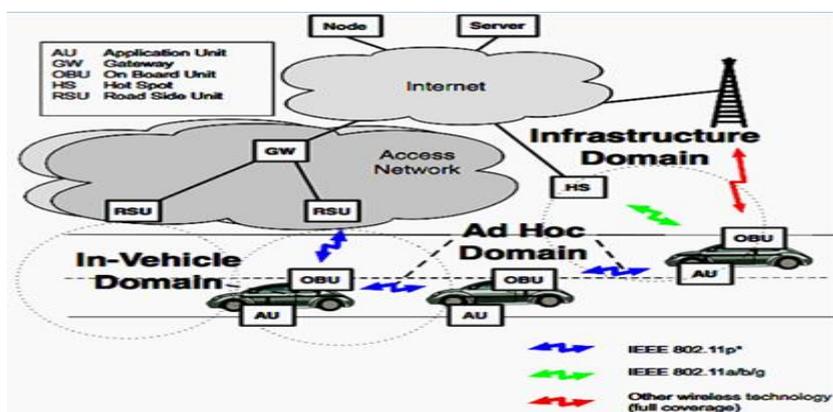


Figure 1. 7 Architecture du système VANET.

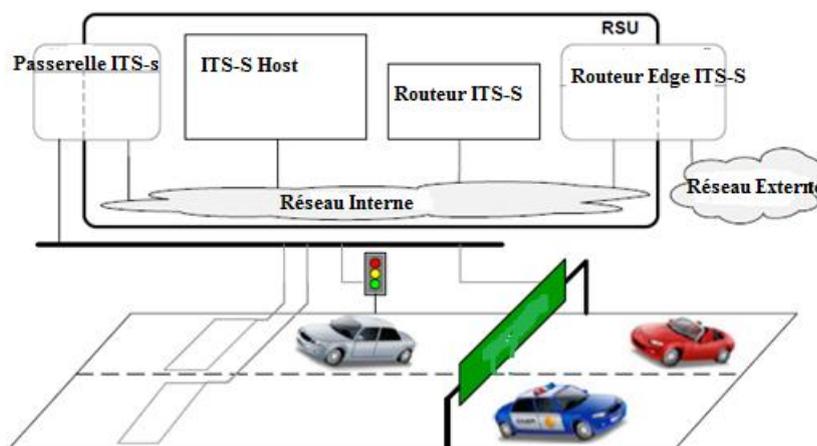


Figure 1. 8 Composition du composant RSU

Selon la norme EN 302 636-3 [74], les multiples composants sont différenciés en fonction de leurs fonctionnalités :

- Les hôtes ;

- Les passerelles ;
- Les routeurs ;
- Routeurs limites.

Les hôtes ITS-S implémentent le minimum de fonctionnalités nécessaires à la performance des applications de base. Les objectifs des passerelles ITS incluent la mise en œuvre du support pour l'interaction normale de différentes piles de protocoles aux niveaux du modèle OSI du 5 au 7. Cela nécessite un mécanisme de conversion de protocole.

Les routeurs ITS-S fournissent la fonctionnalité d'interaction entre protocoles au 3ème niveau du modèle OSI. De plus, l'un des protocoles d'interaction doit nécessairement appartenir à la pile de stations ITS standard. Par analogie avec les routeurs, les routeurs frontières implémentent les fonctions d'interaction entre protocoles au 3ème niveau du modèle OSI. Cependant, leur principale différence est de garantir une interaction avec des réseaux externes pouvant utiliser des mécanismes d'interaction de contrôle et de sécurité différents de la norme pour les stations ITS.

- Hôte ITS-S - applications ITS-S et fonctionnalités de la référence ITS-S. architecture
- Passerelle ITS-S - interconnecte deux piles de protocoles OSI différentes sur les couches 5 à 7. Elle doit être capable de convertir des protocoles.
- Routeur ITS-S : il interconnecte deux piles de protocoles ITS différentes sur la couche 3
- Il peut être capable de convertir des protocoles.
- Routeur frontière ITS-S - fonctions similaires à un routeur frontière traditionnel

1.5.3 Technologies d'interaction

Comme indiqué dans la section 1.1, la création de STI a pour objectif d'assurer l'échange d'informations entre les objets de sa structure, à tous les niveaux d'interaction. Le contenu de cet échange d'informations est entièrement déterminé par la fonctionnalité des services mis en œuvre. La structure non uniforme de ces services impose des exigences différentes aux ressources nécessaires à leur fonctionnement normal. De plus, ces exigences peuvent varier en fonction du niveau d'interaction. De ce fait, la convergence de nombreuses technologies sans fil modernes [54] permet de résoudre le problème de la fourniture intégrée de services d'information dans le cadre des ITS.

Toutes les nombreuses technologies utilisées aujourd'hui dans les STI peuvent être divisées en deux catégories, comme le montre la figure 1.8. La première catégorie, la catégorie de base, comprend les technologies spécialisées développées ou adaptées spécifiquement aux buts et objectifs des STI. Celles-ci incluent DSRC, WAVE et CALM. La deuxième catégorie de technologies additionnelles combine les technologies sans fil bien connues qui, dans le cadre des STI, permettent d'élargir la zone de couverture et d'assurer la largeur et la stabilité requises des canaux de données fournis.

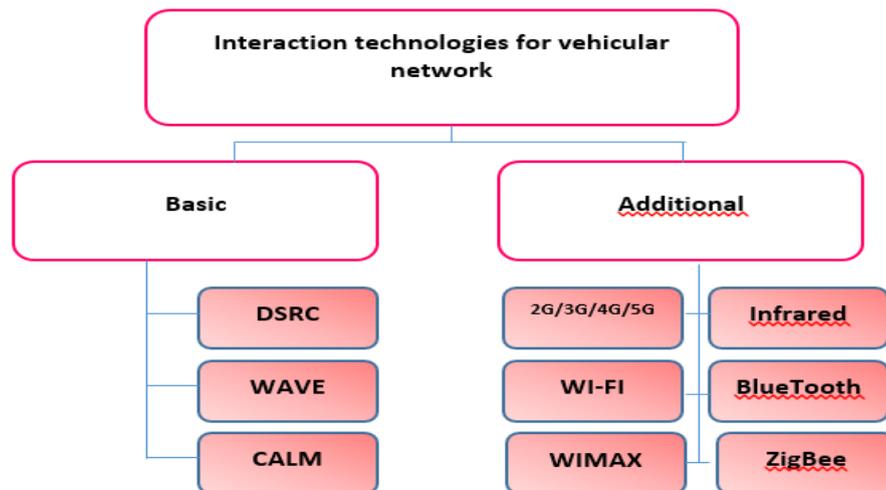


Figure 1. 9 Technologies d'interaction STI

Technologie sans fil aux courtes portées Le DSRC fonctionne à une fréquence de 5,9 GHz, dans laquelle une bande de fréquences de 75 MHz (5,85-5,925 GHz) est attribuée à ses tâches [67]. Il a été spécifiquement spécifié pour les besoins de transmission de données entre l'infrastructure de transport et les véhicules mobiles. Depuis 2004, le processus de transfert de la technologie DSRC vers une technologie Wi-Fi a débuté. Il était basé sur le protocole IEEE 802.11a, qui vise à réduire les frais généraux d'exploitation. Cependant, dans la pratique, il ne s'est pas montré de la meilleure main, car il n'assurait pas une fiabilité suffisante du travail à grande vitesse. En conséquence, après quelques améliorations sur le canal et les couches physiques du protocole IEEE 802.11a, le protocole IEEE 802.11p [59] est né, qui a servi de base à la transmission de données sur le canal radio pour la technologie DSRC. Il est à noter que la migration de DSRC vers le protocole IEEE 802.11p a conduit à son utilisation fréquente avec WAVE.

Le but de ces améliorations, réalisées dans le cadre des groupes de travail IEEE, était de minimiser le temps d'établissement de la connexion. Cela a permis de réaliser la possibilité d'échange d'informations à des vitesses relatives élevées d'objets atteignant 200 km / h. La structure et la composition de cet échange d'informations sont spécifiées par la norme SAE J2735 [35], qui décrit le modèle de haut niveau de l'interaction des objets.

Wireless access in vehicular environments (WAVE) concerne la compatibilité et la continuité des services STI fournis. En plus du protocole IEEE 802.11p, WAVE comprend une famille de protocoles IEEE 1609 qui spécifient les niveaux supérieurs de ces systèmes [60]. La combinaison de ces protocoles permet de recevoir des informations sur le trafic automobile et les incidents en temps réel. De plus, en fonction des besoins, le transfert de données peut être effectué avec un équipement de protection. Globalement, les fonctionnalités mises en œuvre dans le cadre de WAVE permettaient de l'utiliser comme noyau pour les systèmes dits DSRC / WAVE [79, 80, 81]. L'architecture WAVE générique est illustrée à la figure 1.9 [60].

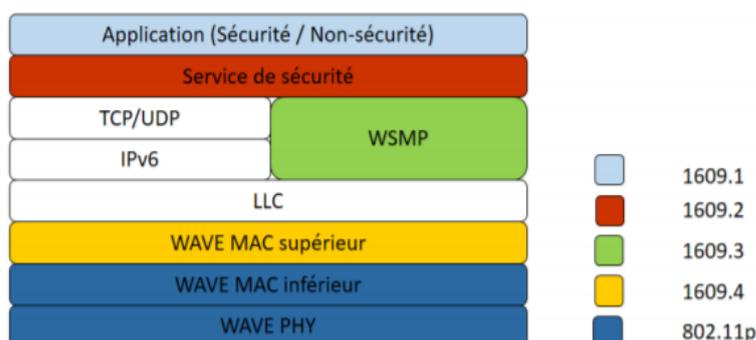


Figure 1. 10 La pile du protocole WAVE

Une série de normes pour l'accès à l'interaction des objets mobiles terrestres (Accès à la communication pour les mobiles terrestres, CALM) est l'élaboration du ISO / TC 204 / groupe de travail 16. CALM est un outil permettant de créer des paramètres de communication spécifiques à l'application pour la plate-forme de communication ITS [20]. Pour ce faire, CALM fournit un ensemble de protocoles, de technologies et d'interfaces de communication, dont le choix peut être effectué de manière dynamique, en fonction des besoins de l'application ou de la qualité du canal [69, 70, 83,84]. L'architecture flexible de CALM permet une interopérabilité à la fois sur la base d'IPv6 et sans l'utilisation d'IP en général. Outre l'interaction entre les objets en mouvement, une partie des normes CALM, notamment ISO 29281, ISO 15628 et ISO 24102, est consacrée aux types d'interaction rapides. Ces technologies sont utilisées pour mettre en œuvre différents types de systèmes de paiement électronique.

Des méthodes d'interaction supplémentaires pour les STI comprennent les technologies à usage général et les protocoles de communication de types de systèmes tiers, dont l'utilisation est destinée à étendre les capacités de base du système en cours d'organisation. Ainsi, la collecte d'informations à partir des capteurs internes du véhicule, ainsi que la connexion d'appareils personnels de conducteurs et de passagers à un seul réseau embarqué, peuvent être effectuées à l'aide des technologies Bluetooth et ZigBee bien connues et réputées. La tâche prioritaire de la technologie ZigBee, dont le débit de transmission ne dépasse pas 250 kbit / s, consiste à interroger les capteurs des systèmes embarqués et à consolider les informations de diagnostic collectées dans la mémoire interne. Par la suite, ces informations peuvent être utilisées par les centres de service pour analyser l'état technique du véhicule [54].

BlueTooth, avec ZigBee, fait référence aux technologies à courte portée. Cependant, le taux de transfert de données de la cinquième génération de cette technologie peut atteindre 2 Mbit / s. Considérant la large distribution de BlueTooth dans le cadre du paquet de base de technologies sans fil pour l'échange de données entre périphériques, y compris dans la liste des technologies de communication ITS, est une étape évidente vers l'extension des capacités du système. L'utilisation de cette technologie permet aux usagers de la route de partager facilement de petites quantités de données. En outre, un certain nombre de fabricants produisent actuellement des outils de gestion du trafic avec une interface BlueTooth. En détectant les périphériques dotés d'interfaces compatibles BlueTooth, ces commandes peuvent facilement évaluer la situation et ajuster les conditions de conduite sur des sections de route achalandées ou proposer aux piétons un mode confortable leur permettant de traverser la route. En cas de bande passante insuffisante pour la mise en œuvre de tous les services, des technologies plus rapides sont utilisées, telles que le Wi-Fi ou les technologies de transmission de données de systèmes mobiles, telles que 2G, 3G et 4G (LTE). L'utilisation

de ces technologies vous permet d'organiser des canaux de communication avec des vitesses de plusieurs centaines de Mbps. Et la cinquième génération de communications mobiles (5G), en cours de développement et de test, est destinée à augmenter les vitesses de transfert de données, à améliorer le rendement énergétique et la possibilité d'interactions directes telles que D2D (Device to Device). Tout cela permettra d'établir une interaction encore plus étroite des composants IoT, auxquels les objets ITS peuvent être attribués en toute sécurité. Cependant, il ne faut pas oublier que, puisque les systèmes mobiles sont externes par rapport aux STI, leurs ressources sont utilisées de manière transparente pour l'interaction des équipements des utilisateurs avec n'importe quel service réseau. La solution au problème de l'extension de la zone de couverture STI tout en préservant simultanément la bande passante fournie peut être organisée grâce à l'utilisation de la technologie WiMAX (Interopérabilité mondiale pour accès par micro-ondes). Les caractéristiques de cette technologie permettent d'éliminer le problème des interruptions dans la fourniture de services STI pour les véhicules circulant sur les routes entre les colonies.

Outre les technologies sans fil, le système ITS consolide les ressources informatiques réparties sur les nœuds de réseau, les systèmes de stockage et les composants de diagnostic représentés par des capteurs et des capteurs. Une telle symbiose de solutions logicielles et matérielles et de technologies de communication nous permet de transférer les STI à un niveau de travail qualitativement nouveau.

1.5.4 Le rôle de VANET dans la structure des ITS

L'un des composants les plus importants de l'ITS est le réseau automobile auto-organisé VANET (Traffic Ad Hoc Network), dont les nœuds sont représentés par les véhicules eux-mêmes équipés de modules de communication spécialisés installés. L'objectif principal de ce type de réseau est d'avertir les usagers de la route de l'apparition de situations anormales. Cette fonctionnalité est organisée par la distribution automatisée de messages d'applications provenant de la sécurité routière via une structure de réseau auto-organisée. Un problème connexe qui peut être résolu en assurant aux conducteurs des informations opportunes sur la situation du trafic est la redistribution des flux de trafic, ce qui réduit la taille des embouteillages [85].

VANET fait partie du concept ITS, qui consiste à former une structure de réseau hautement dynamique et auto-organisatrice pour la transmission d'informations sur le trafic et les incidents. Les réseaux VANET sont le point de départ de la construction d'un système ITS complet, car ils peuvent fonctionner en liaison avec des stations d'infrastructure ou de manière isolée. Le coût élevé du déploiement de la partie infrastructure ITS souligne encore le poids des réseaux VANET dans le cadre d'un système intégré commun [86, 87].

Les réseaux VANET présentent un certain nombre de caractéristiques, telles que la vitesse élevée du véhicule, la densité de nœuds élevée, l'inconstance de la structure et la composition des réseaux, se regroupant souvent dans des zones isolées. Tout cela impose des exigences particulières aux modes et paramètres du réseau. Il est donc essentiel de minimiser les retards dans l'envoi de messages à partir d'applications de sécurité routière et de maintenir un niveau élevé de connectivité réseau. De telles exigences impliquent la nécessité d'utiliser une technologie de communication sans fil spécialisée, qui, est devenue le WAVE [41].

1.6 Architecture du réseau VANET

Comme pour tout système, les caractéristiques clés de l'architecture VANET sont sa

composition, ses modèles d'interaction, ses méthodes d'identification et ses mécanismes de sécurité. VANET étant basé sur WAVE, ces caractéristiques sont définies par la famille de normes IEEE 1609. Au niveau de l'application, dans la construction d'un système DSRC / WAVE, la norme SAE J2735 est ajoutée à la famille de normes spécifiée.

Les principaux éléments de l'architecture VANET sont des modules OBU² (On Board Unit) spécialisés de télécommunication installés sur le véhicule, ainsi que des stations de base d'infrastructure RSU (Roadside Unit) avec un ensemble similaire d'interfaces de communication. Les OBU sont intégrés au système embarqué, avec leurs propres ressources informatiques, antenne et affichage d'informations.

1.6.1 Définitions et concepts de base de VANET

Les VANET sont conçus pour améliorer la sécurité routière et l'efficacité de la circulation dans les environnements véhiculaires. Ces réseaux constituent donc un enjeu important pour la recherche universitaire et industrielle. Cette section présente les définitions et les concepts de base de VANET.

1.6.2 Caractéristiques des VANET

Étant donné que les VANET représentent un sous-ensemble des MANET, ils héritent la majorité des caractéristiques des MANET. Cependant, les VANET possèdent certaines caractéristiques spéciales, notamment une grande mobilité des nœuds, une densité élevée de nœuds, un taux élevé de changement topologique, des restrictions de configuration des routes, un approvisionnement énergétique infini, aucune restriction sur la taille du réseau, et ainsi de suite [88],[89]. En utilisant les batteries rechargeables dans les environnements VANET, les utilisateurs ne sont soumis à aucune contrainte énergétique [90],[91]. Dans VANET, les nœuds mobiles sont les véhicules qui peuvent se déplacer à des vitesses très élevées (par ex. 120 -140 Km/s sur les autoroutes). Par conséquent, l'une des caractéristiques les plus importantes de VANET est sa grande mobilité. De plus, dans VANET, la topologie peut changer très fréquemment parce que le véhicule peut se déplacer rapidement, les conducteurs peuvent choisir les chemins au hasard, et ainsi de suite [89].

En raison de la nature dynamique du trafic routier, certains écarts peuvent se créer entre les véhicules et, par conséquent, des groupes de nœuds isolés peuvent être créés dans les routes [90],[92]. De plus, en raison du changement de topologie élevé dans VANET, la durée de connexion de la liaison est très courte. Les nœuds doivent fréquemment choisir le nouvel itinéraire pour le transfert des données. De plus, lorsque la densité du réseau diminue, le taux de déconnexions augmente. Le taux élevé de déconnexions des liaisons pose certains problèmes de performance des réseaux VANET. Ce problème peut être résolu à l'aide d'unités routières et de nœuds relais. Ces enjeux nous amènent à effectuer de nouvelles recherches pour maintenir une connectivité transparente et diminuer les effets de l'évanouissement dans VANET [91].

Le modèle de mobilité de VANET se limite au plan des autoroutes, des routes et des rues. Cependant, il est nécessaire de connaître la position des nœuds et leur sens de déplacement pour mieux prédire la décision du conducteur et éviter la déconnexion de la liaison. De plus, la modification du modèle de mobilité (c.-à-d. les autoroutes ou les environnements urbains) influence la conception des algorithmes de contrôle dans VANET. Le modèle de mobilité routière est simple en raison des déplacements unidimensionnels des véhicules, alors que,

dans le modèle urbain, il faut tenir compte de certaines caractéristiques comme le tracé des rues, la densité élevée des nœuds, les déplacements bidimensionnels des véhicules, les obstacles et les interférences via les grands bâtiments et les arbres. Ces caractéristiques rendent la conception des VANET en milieu urbain différente et plus complexe [88],[89],[92].

1.6.3 Exigences de VANET

Les exigences de VANET reposent sur les exigences des applications de VANET. Les exigences de VANET peuvent être classées en fonction des dispositifs, de la stratégie, de l'économie, des capacités du système, de la performance du système et des exigences de normalisation [90], [93]. Le dispositif exige que les VANET soient équipés pour communiquer entre les véhicules et entre les véhicules et les infrastructures. Dans VANET, les véhicules sont équipés d'unités embarquées (OBU). De plus, des unités au bord de la route RSU (Road-Side Units) sont installées en bordure des routes dans les environnements routiers et urbains. Les exigences stratégiques sont liées aux stratégies définies par les commissions et les gouvernements, ainsi qu'au niveau de déploiement de VANET (par exemple, seuil minimum de pénétration). Dans les exigences économiques, certains facteurs sont pris en compte, comme le coût et le temps nécessaires pour retourner les ressources financières.

Les exigences en matière de capacités du système sont celles qui sont nécessaires pour fournir les capacités de communication radio, de communication réseau, de positionnement du véhicule, et ainsi de suite. Les capacités de communication radio comprennent la largeur de bande disponible, la portée de communication radio à un seul saut, les canaux de radiofréquence utilisés, le débit binaire et le niveau de compensation des difficultés de propagation du signal radio par les RSU et OBU, etc. Les capacités de communication réseau comprennent le mode de diffusion (par exemple unicast, multicast, géocast, broadcast), le contrôle de la congestion, la priorisation et la planification des messages, la collecte de données, l'adressage IPv4 et IPv6 et la gestion de la mobilité. Les capacités de positionnement des véhicules peuvent être fournies par le Système mondial de navigation par satellite (GNSS) tel que le Système mondial de localisation (GPS) [90], [93].

Les exigences de performance du système sont les exigences liées à la performance des communications du véhicule (p. ex. délai maximal, fréquence de mise à jour de l'information et retransmission de l'information), la précision du positionnement du véhicule, la fiabilité du réseau, et ainsi de suite. Dans les exigences de normalisation, les normes et standards sont définis pour fournir des VANET dans les environnements véhiculaires [90], [93].

1.6.4 Composition de VANET

Les premières expériences primitives sur la mise en réseau de véhicules avaient déjà été effectuées en 1989 [94], mais des recherches plus systématiques sur le concept de mise en réseau de véhicules ont été entreprises au début de ce millénaire. De toute évidence, le point de départ était le Wi-Fi, en tant que système de communication sans fil existant et largement utilisé. Comme prévu, les réseaux Wi-Fi se sont rapidement avérés plutôt inadéquats à cette fin. Les applications de communication de sécurité des véhicules ne peuvent tolérer de longs délais d'établissement de connexion avant de pouvoir communiquer avec des systèmes de sécurité centralisés et / ou d'autres véhicules rencontrés sur la route. Naturellement, la fiabilité de la communication à tout moment est également un problème important. Les applications non liées à la sécurité requièrent également des configurations de connexion rapides et

efficaces avec des stations en bordure de route fournissant des services (mises à jour des données météorologiques et routières, par exemple) en raison du temps limité passé par une voiture dans la zone de couverture des stations. De plus, les véhicules en mouvement rapide et un environnement routier complexe posent des problèmes sur le plan physique. Ces problèmes surviennent généralement lors de l'utilisation du Wi-Fi. L'organisme de normalisation IEEE 802.11 a créé un nouvel amendement, l'IEEE 802.11p, pour répondre à ces préoccupations [95], [96].

Le principal objectif de la norme IEEE 802.11p est d'améliorer les applications de sécurité publique et d'améliorer le flux de trafic par communications entre véhicules (V2V) et entre véhicules (V2I). La technologie sous-jacente à ce protocole est la communication DSRC (Dedicated Short-Range Communication), qui utilise essentiellement la couche physique standard IEEE 802.11a et les améliorations de la qualité de service de IEEE 802.11e, ajustées pour des opérations à faible temps système. L'IEEE 802.11p utilise un protocole de sous-couche MAC EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) conçu dans IEEE 802.11e, avec quelques modifications aux paramètres de transmission. DSRC est un service de communication à courte portée conçu pour prendre en charge les besoins de communication en vue d'améliorer les applications de sécurité publique, de sauver des vies et d'améliorer le flux de trafic via les communications véhicule à véhicule et infrastructure à véhicule. L'accès sans fil à l'environnement véhiculaire (WAVE) est la technologie de nouvelle génération qui permet la transmission de données à grande vitesse V2V et V2I. Le système WAVE est basé sur les normes IEEE 802.11p et IEEE 1609.x [97] fonctionnant à 5,850-5,9250 GHz avec des débits de données et prend en charge entre 3 et 27 Mbps avec un canal à 10 MHz et 6-54 Mbps dans un canal à 20 MHz, respectivement. Une portée pouvant atteindre 1 000 m dans divers environnements (par exemple urbain, suburbain, rural) est prise en charge, avec des vitesses relatives pouvant atteindre 110 km / h. En fonction des besoins, il est possible de choisir une largeur de bande de canal de 10 MHz ou 20 MHz [95], [96], [97], [98], [99], [100].

Le développement des réseaux de communication véhiculaires a créé une variété de services et d'applications d'urgence. Les principales contributions jusqu'à présent ont été fournies dans le cadre des projets de l'Union européenne relatifs au 6e cadre-cadre (6e PC) et au 7e cadre de l'UE (7e PC) (principaux projets énumérés dans [101]), du projet de communication sur la sécurité des véhicules (VSC) et de l'intégration des infrastructures de véhicules. (VII) soutenu par l'US Department of Transportation (DoT) aux États-Unis et dans les activités soutenues par le ministère japonais de la Terre, des Infrastructures et des Transports (MLIT) au Japon. Les services pilotes mis au point jusqu'à présent contiennent différents types d'alerte de collision coopérative (CCW), de systèmes de détection (post- et pré-) de collision (CDS) et de systèmes de sécurité d'intersection coopératifs (CISS), entre autres [101].

Comme indiqué ci-dessus, un réseau d'accès véhiculaire est souvent classé dans les communications de véhicule à véhicule et de véhicule à infrastructure. Comme le montre la figure 3, il existe davantage de sous-catégories de réseaux de véhicules, mais on peut dire que ces deux types sont les principaux, tandis que les autres sont des cas particuliers. Dans ce travail, il existe de nombreux cas et scénarios spéciaux dédiés uniquement à V2I ou à V2V. Par conséquent, il est important d'examiner plus en détail les différences entre ces types de communication. Dans les sous-chapitres suivants, V2I et V2V, ainsi que leurs combinaisons hybrides, sont considérés un par un.

En plus des modules logiciels et matériels, VANET comprend des interfaces de communication permettant l'interaction de ces modules. Selon le sens du transfert

d'informations entre les objets, on distingue les types d'interface suivants [77, 102, 103, 79]:

- Véhicule à véhicule (V2V) - lorsque les objets en interaction sont des OBU. Ce type d'interaction est essentiel en l'absence de stations de base d'infrastructure. Il vous permet d'organiser l'échange de messages entre les usagers de la route de TC afin d'améliorer la sécurité routière.

- Véhicule vers infrastructure (V2I) : lorsque les informations sont transférées d'OBU à RSU. Il est utilisé en cas de transfert d'informations à travers l'infrastructure afin de décharger les interfaces sans fil. Il permet également d'organiser la collecte d'informations dans des centres de contrôle et d'organiser des systèmes de gestion permettant de contrôler et de réguler les flux de trafic ;

La communication de véhicule à infrastructure désigne un réseau ad hoc de véhicules (VANET) créé entre des véhicules en mouvement et une infrastructure statique en bordure de route. L'architecture de communication est centralisée, l'infrastructure routière jouant un rôle central pour un ou plusieurs véhicules. La communication est bidirectionnelle, malgré le fait que le terme « véhicule à infrastructure » semble désigner une seule direction. Toutefois, dans le sens véhicule à infrastructure, la communication est de type unicast, alors que dans le sens opposé, le type de communication est à la fois diffusion (tout en fournissant des données générales) et unicast (tout en répondant aux demandes des véhicules). Les infrastructures routières, ou simplement RSU, sont généralement complétées par une alimentation électrique fixe et une connexion au réseau fédérateur. RSU peut être équipé d'antennes multiples et / ou directives, ce qui rend le canal de liaison descendante (à partir de RSU) généralement plus puissant que celui de liaison montante. Dans certaines applications V2I, le canal de liaison montante n'a pas de sens ou n'existe pas, ce qui fait que le service ressemble davantage à un type de diffusion.

Néanmoins, la communication V2I est généralement utilisée pour transmettre des informations des exploitants routiers ou des autorités aux véhicules. L'avertissement de travaux routiers est un exemple typique d'un service V2I ; Des émetteurs-récepteurs de réseau d'accès véhiculaire sont déployés dans la zone de travaux routiers, informant les véhicules approchant de la zone de l'opérabilité exceptionnelle de la route. Un progrès particulièrement important est la capacité des systèmes de signalisation routière de communiquer au véhicule les informations de phase et de cadencement du signal (SPAT) afin de permettre aux conducteurs de diffuser des avis et des avertissements de sécurité actifs. Une approche pour l'optimisation des feux de signalisation est le protocole STAR (Shortest-Path-Based Traffic-Light-Aware Routing) basé sur le plus court chemin [104]. Ces deux services sont du type radiodiffusion et ne nécessitent pas l'utilisation d'un canal de liaison montante. Au contraire, le RSU avec une station météorologique routière, fournit non seulement les données météorologiques et les avertissements des véhicules qui passent, mais collecte également les observations relatives à la météo et à la sécurité des véhicules afin de mettre à jour davantage les données.

La communication V2I présente certaines similitudes avec une liaison sans fil entre le nœud mobile et le point d'accès dans un réseau sans fil traditionnel. Tout comme un point d'accès, RSU est un élément statique dans les véhicules en mouvement, à l'instar des nœuds mobiles d'un réseau sans fil traditionnel. En raison de sa nature fixe, RSU possède des ressources supérieures en termes de puissance du signal et donc de capacité de données, tout comme le point d'accès. Cependant, en raison de la nature temporaire de la communication V2I, RSU ne peut pas assurer une connectivité réseau dorsale continue aux véhicules. Au lieu de cela, RSU peut simplement agir en tant que point d'accès de service, en fournissant un échange de données de service haute bande préconfiguré entre le véhicule et le réseau fixe,

quel que soit le lieu situé à proximité d'une RSU. Instead, RSU can merely act as service hotspot, delivering a pre-configured high-band service data exchange between the vehicle and fixed network whenever in the vicinity area of an RSU. Un exemple d'un tel réseau de diffusion de données est présenté dans [105].

Dans certains travaux connexes, on discute des communications véhicule-route (V2R). V2R est un cas particulier de communications V2I, dans lequel l'accent est strictement limité aux infrastructures routières, telles que les travaux routiers et SPAT, mentionnées ci-dessus. Néanmoins, V2R est un cas particulier de V2I et dans ce travail, il n'est pas considéré séparément.

- Infrastructure à infrastructure (I2I) - en cas d'interaction RSU. Ce type d'interfaces permet l'échange d'informations à la fois via des canaux de communication filaires et sans fil ;

- Vehicle-to-X (V2X) - est un type d'interface universel qui vous permet d'organiser le type d'interaction V2V et / ou V2I.

Communication combinée véhicule-véhicule et véhicule-infrastructure.

Les réseaux V2V et V2I combinés peuvent être considérés comme de simples réseaux V2V complétés par des capacités V2I. La V2V est le point de départ, avec des applications définies dans le sous-chapitre précédent, et la V2I intégrée permettrait une gamme étendue d'applications de sécurité pour éviter les accidents de véhicules utilisant la même technologie sans fil. L'une des caractéristiques supplémentaires activées par V2I est la prévention des collisions aux intersections. En connaissant la carte d'état dynamique de tous les véhicules, ainsi que la géométrie de ces intersections, le système peut avertir le conducteur d'un autre conducteur potentiellement dangereux en intersection. De ce point de vue, les systèmes hybrides V2V et V2I sont souvent appelés communications véhicule à véhicule / infrastructure ou simplement V2X [106].

Dans ce travail, l'une des problèmes essentiels a été de considérer le V2V et le V2I combinés comme son propre cas particulier de communication. Une approche similaire a été présentée dans [107]. Le RSU, côté infrastructure de V2I, a généralement une puissance fixe et peut utiliser des antennes directives spécialement conçues pour le RSU, rendant souvent le signal de liaison descendante du RSU vers le véhicule dominant, par rapport à la liaison montante fournie par le véhicule. De plus, RSU a tendance à communiquer avec tous les véhicules, tandis que le véhicule essaie d'optimiser son utilisation des ressources de communication en minimisant l'intervention avec les autres véhicules. Enfin, comme le RSU dispose généralement d'une connexion réseau fixe, il peut également être considéré comme un point d'accès du réseau sans fil dans un type particulier de réseau sans fil véhiculaire.

Comme indiqué ci-dessus, le réseau combiné d'accès aux communications V2V et V2I se compose de véhicules et de RSU, avec des objectifs relativement différents. Les véhicules communiquent entre eux de manière V2V chaque fois qu'ils se trouvent à proximité l'un de l'autre, échangeant essentiellement leurs observations à partir sur le trafic ou transmettant des messages à sauts multiples, ou éventuellement des données à grande distance reçues plus tôt du RSU. Cependant, lorsqu'ils pénètrent dans la zone de proximité d'une URS(RSA), les véhicules échangent non seulement des données avec l'RSU, mais peuvent également échanger des données avec des services situés sur l'internet fixe, par le biais d'une liaison d'accès fournie par l'RSU (si cette opérabilité est utilisée). Comme le temps d'interaction avec le RSU est très limité, ces procédures de communication des points d'accès sans fil doivent être préconfigurées dans le profil de l'utilisateur du véhicule, pour être déclenchées

automatiquement à l'entrée dans le voisinage du RSU. Le véhicule doit donc initier les différentes procédures opérationnelles pour l'interaction entre le véhicule et le RSU. Au contraire, les procédures de RSU sont fondamentalement similaires, que le réseau soit V2I ou combiné V2V et V2I.

- Vehicular to Home (V2H): fournit des interactions OBU avec d'autres objets IoT installés dans l'emplacement d'origine. De plus, le diagnostic autonome du véhicule peut être effectué via V2H, suivi de l'envoi de données aux départements de service. Cette interface vous permet d'élargir la portée des services proposant des trajets de confort. Pour cela, par exemple, l'itinéraire du prochain voyage avec tous les points d'intérêt peut être chargé à l'avance dans l'ordinateur de bord ;

- Cloud de véhicule à large bande (V2B): permet à OBU d'interagir avec les services de cloud, en utilisant les technologies de transmission de données à large bande des opérateurs mobiles.

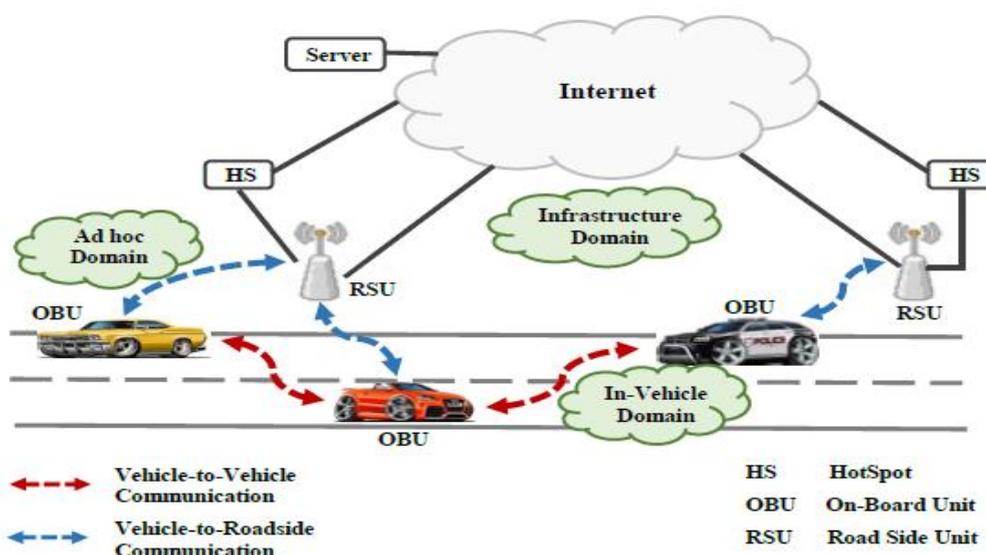


Figure 1. 11 Architecture du système VANET

La figure 1.11 illustre trois domaines de VANET de district, à savoir le domaine In-vehicle, le domaine Ad hoc et le domaine infrastructure. Le domaine embarqué est constitué d'OBU. Chaque véhicule est considéré comme étant équipé d'un OBU. Les OBU génèrent une communication sans fil à courte portée pour les communications de sécurité et autres.

Les communications sans fil à courte portée sont générées par les OBU pour les communications de sécurité et les communications non sécuritaires. Le deuxième domaine est le domaine ad hoc qui est composé d'OBU et de RSU. Un réseau mobile ad hoc peut être envisagé entre les OBU qui assure les communications entre véhicules. Les communications OBU peuvent être effectuées par des communications à un seul saut ou des communications à sauts multiples qui dépendent des applications générant ces communications [91],[108]. Le troisième domaine est le domaine Infrastructure qui est composé par des RSU et des Hotspots (HS). Le domaine de l'infrastructure est utilisé pour accéder aux applications de sécurité et aux applications non liées à la sécurité. Les RSU fournissent l'accès à Internet, et la HS est considérée pour les environnements peu contrôlés. Dans le cas où les RSU ou les SH ne peuvent pas fournir l'accès à Internet, les OBU peuvent utiliser des réseaux cellulaires intégrés, y compris le service général de radiocommunication par paquets (GPRS), le Système

mondial de communications mobiles (GSM), le Système universel de télécommunications mobiles (UMTS), 4G, et WiMAX [91], [108].

1.6.5 Méthodes d'échange d'informations

Il existe plusieurs méthodes pour transmettre des informations à un réseau VANET. Ils sont étroitement liés aux capacités de la pile de protocoles illustrée à la figure 1.7. L'efficacité des services commerciaux repose principalement sur l'utilisation du paquet TCP / UDP + IPv6 bien connu des réseaux filaires. Pour le travail des services liés à la sécurité routière ou la collecte de statistiques sur l'état des flux de trafic, ainsi que les services de tarif électronique sans fil, un protocole spécial WSMP (WAVE Short Message Protocol) [60] est fourni dans la pile. WSMP est spécialement conçu pour fonctionner dans un environnement WAVE, en tenant compte des exigences en matière de réduction des délais. Il permet aux applications de contrôler directement les caractéristiques de la couche physique, telles que le numéro de canal ou l'intensité du signal utilisé lors de la transmission d'un message. Le modèle d'interaction prenant en compte la composition de VANET décrite dans la section 1.5.1, ainsi que la pile de protocoles donnée dans la section 1.5.3, est présenté à la figure 1.12.

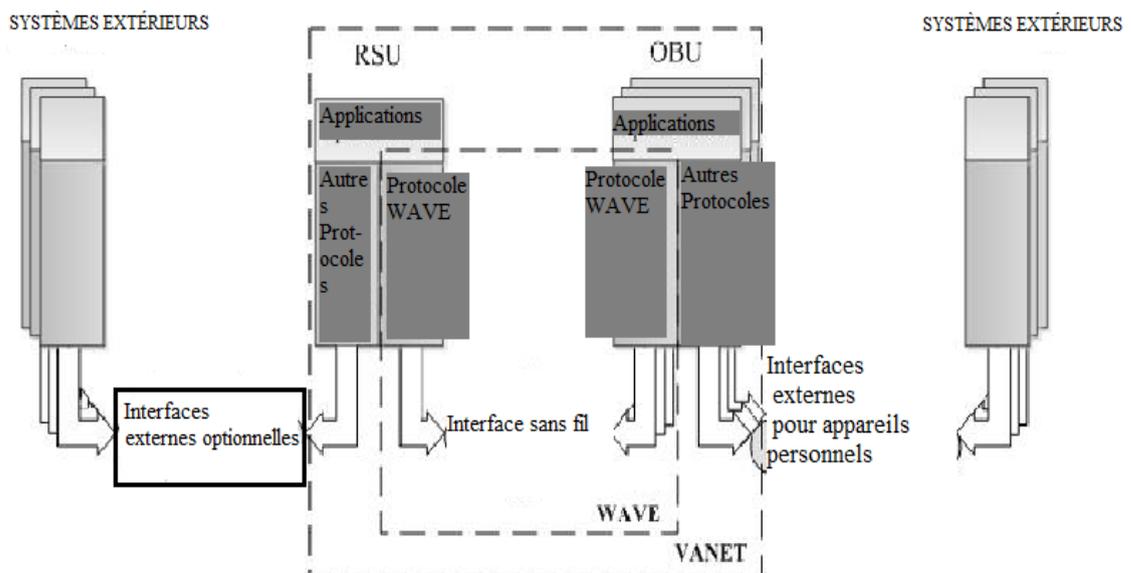


Figure 1.12 Modèle d'interopérabilité de VANET

Dans le cas de l'utilisation du protocole WSMP, les informations sont transmises à l'aide d'un message WSM (WAVE Short Message) spécialement conçu à cet effet. Cependant, malgré l'utilisation efficace des ressources de canal, ce protocole présente un inconvénient majeur. La transmission de messages ne peut être effectuée que dans la zone d'audience directe du signal. S'il est nécessaire de transférer des informations à l'aide de relais, vous devez utiliser IPv6 avec ses outils de routage.

L'utilisation du mode de diffusion des informations sur un réseau est associée à un autre problème. Si le processus de retransmission de messages n'est en aucune manière limité, cela conduit à ce qu'on appelle une tempête de diffusion. Dans ce cas, lors de l'envoi de messages d'un noeud à l'autre, à chaque nouvelle étape, le nombre de messages augmente en avalanche, ce qui conduit finalement à l'épuisement complet des ressources du canal. Les approches de

la résolution de ce problème au cours des dix dernières années ont fait l'objet de nombreux articles [109, 111, 112,113, 114,115,116]. Cependant, compte tenu de la dynamique des changements dans la structure du réseau, il n'est pas possible d'abandonner le mode de diffusion. Cette conclusion est évidente, car le transfert des informations adressées n'est pas en mesure d'assurer une information rapide et complète des usagers de la route sur le danger imminent.

1.6.6 Topologies VANET

Sur la base de la composition des réseaux d'automobiles, il est évident qu'ils peuvent former à la fois une structure peer-to-peer et une structure hiérarchique. Dans le cas d'une structure d'égal à égal, l'utilisation d'une RSU n'est pas prévue. Les informations sont transmises soit en mode "point à point" (P2P), soit en mode "point à multipoint" (P2MP), pour les cas de diffusion de messages. Le mode P2MP correspond à la topologie du réseau en étoile. La participation à l'échange d'informations RSU vous permet d'organiser une topologie en «arborescence de grappes». L'échange de données entre les OBU, ainsi que les interactions avec les autres services ITS, est effectué par l'intermédiaire du RSU le plus proche. Les RSU interconnectées vous permettent d'organiser l'échange d'informations entre réseaux entre clusters. Cela permet de décharger considérablement le canal de communication sans fil et d'accroître la connectivité du réseau. Les variantes des technologies de réseau formées par les composants VANET sont illustrées à la Figure 1.12.

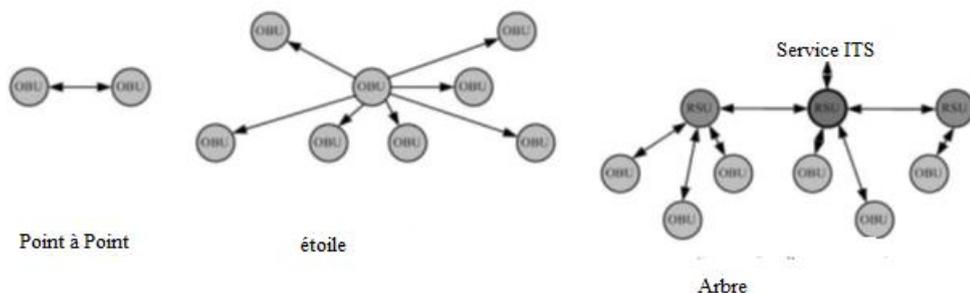


Figure 1. 13 Topologies VANET

1.6.7 Applications de réseau automobile

Les applications VANET sont classées selon leur objectif principal [41, 49,76,117]:

- les applications de sécurité sont des applications qui augmentent la sécurité des véhicules sur les routes ;
- applications de gestion du trafic - forment une structure d'infocommunication destinée à optimiser le trafic ;
- applications à usage général - fournissent des services commerciaux ou de divertissement, dont certains peuvent être à valeur ajoutée.

1.6.7.1 Applications d'usage général

L'objectif principal des applications polyvalentes est d'améliorer le confort des passagers [56]. Les passagers de véhicules qui voyagent très longtemps peuvent être intéressés par un domaine d'application similaire des réseaux automobiles. Il consiste à fournir de nombreux types d'informations. Ainsi, les passagers peuvent recevoir des informations telles que des annonces, des contenus de divertissement, des informations météorologiques, ainsi que des indications détaillées sur l'emplacement du restaurant, de l'hôtel et du café le plus proche. Des informations supplémentaires peuvent être fournies aux conducteurs sur l'emplacement des parcs de stationnement ou des stations-service à proximité. Les passagers peuvent jouer à des jeux en ligne, accéder à Internet et envoyer ou recevoir des courriels, discuter avec des amis et effectuer des travaux de bureau lorsque le véhicule est connecté au réseau de l'infrastructure [118, 119, 120]. Une caractéristique importante des applications commerciales est qu'elles ne doivent pas interférer avec les applications de sécurité. Dans ce contexte, une solution appropriée consiste à hiérarchiser le trafic et à utiliser des canaux physiques distincts, comme indiqué à la section 1.6.2.

1.6.7.2 Applications de gestion du trafic

L'une des tâches principales assignées aux STI en milieu urbain est la gestion intelligente des flux de trafic. Pour ce faire, à l'aide de capteurs installés aux stations de base, de caméras de surveillance et d'autres moyens de détection, recueille des informations sur l'état actuel des flux de trafic, en référence aux sections de route. Les informations recueillies sont analysées aux points focaux et, sur la base des résultats de l'analyse, des actions de contrôle sont entreprises sur les moyens de coordination des flux de trafic. Ces actions de contrôle incluent : changer le schéma des feux de signalisation, changer la limite de vitesse et divers types d'avertissements sur les panneaux d'information [55]. Une autre façon d'influencer les flux de trafic consiste à envoyer des informations sur les embouteillages et les conditions de trafic directement à l'OBUE. Ces informations peuvent être visualisées sur les outils de navigation embarqués et incitent les conducteurs à choisir des itinéraires alternatifs.

1.6.7.3 APPLICATIONS LIÉES AU TRAFIC

Cette deuxième catégorie d'applications vise à informer les conducteurs sur les flux de trafic afin de gérer efficacement le trafic et d'éviter les embouteillages. Comme cas d'utilisation, nous pouvons mentionner :

- Services de gestion de la congestion : Les véhicules et l'infrastructure de surveillance recueillent de l'information sur la circulation, prédisent la congestion et optimisent les feux de circulation pour gérer le flux de trafic. Les véhicules en déplacement peuvent choisir les meilleurs itinéraires et éviter ceux qui sont très encombrés.

- Navigation autonome : Le platelage de véhicules est l'une des solutions innovantes de l'industrie automobile qui permet aux véhicules de voyager ensemble en toute sécurité. En fait, le platelage vise à réduire l'espace utilisé par les véhicules. . Ainsi, plus de voitures peuvent partager les routes sans embouteillages. De plus, de nouvelles plates-formes embarquées avancées telles que Google OAA permettent l'auto-conduite sans support humain. Comme le montre la figure 1.13, une voiture autonome est capable de détecter son environnement à l'aide de radars, de caméras et d'informations de navigation. Il est capable de détecter les obstacles et de les éviter ou de réduire sa vitesse en fonction des feux de

circulation.

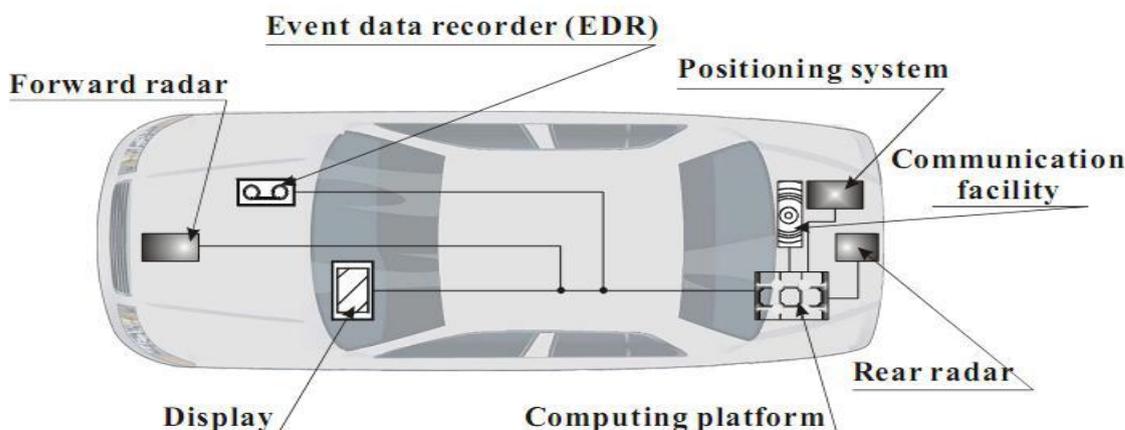


Figure 1. 14 Véhicule autonome

1.6.7.4 Applications de sécurité

Les applications de sécurité ont pour objectif principal d'augmenter le niveau de sécurité publique et d'éviter les pertes humaines. Une caractéristique essentielle de ces applications est que les données des applications de sécurité sont transmises aux nœuds intéressés (véhicules approchant de la zone dangereuse) pendant une durée limitée. En raison du temps critique, de telles applications nécessitent généralement une connexion directe entre les nœuds.

La réalisation de l'objectif d'amélioration de la sécurité routière et de la prévention des accidents est réalisée par la mise en œuvre d'un échange d'informations opportun, tel que V2V ou V2I, à l'aide de technologies de communication sans fil. Tout cela contribue non seulement à éliminer ou, au minimum, à réduire les risques de décès, mais également à améliorer la pureté de l'environnement en prévenant les rejets potentiels de polluants, résultant souvent d'accidents [79, 121, 122].

Les applications liées à la sécurité peuvent être regroupées en trois classes principales : assistance (navigation, prévention des collisions collectives et gestion des changements de voie), information (limitation de vitesse ou zone de réparation) et alerte (urgence, obstacle ou état de la chaussée), comme illustré au niveau du tableau 1.5. Un exemple d'application d'avertissement pourrait être une notification de freinage. Dans ce cas, lorsqu'un accident se produit, que les airbags se déclenchent ou qu'il s'agisse d'un freinage soudain, une notification est envoyée aux voitures suivantes. Les mêmes informations peuvent être envoyées aux voitures se déplaçant dans la direction opposée. En conséquence, toutes les voitures susceptibles d'avoir un accident seront notifiées [123, 124].

Un autre exemple plus complexe de mise en œuvre d'applications de sécurité est le système de co-conduite, qui repose sur l'échange de données provenant de capteurs embarqués ou d'autres informations techniques entre les voitures. L'idée de base de ce système est d'élargir le champ de vision du conducteur, grâce au traitement des applications entrantes d'informations en différé. En conséquence, les conducteurs de voitures empruntant la même route reçoivent des informations sur les dangers, les obstacles, le trafic, ce qui conduit finalement à une conduite plus efficace et plus sûre. Évidemment, les performances d'une telle application dépendent énormément du nombre de véhicules équipés de systèmes VANET.

Table 1. 5 Application de sécurité dans les VANET

Application	Modèle Communication	Les données transmises
Avertissement de vitesse en virage	V2I	Phase du signal, timing, position, direction, géométrie de la route
Violation des feux de circulation	V2I	Emplacement de virage, angle de virage, pente, limite de vitesse, surface
Feux de freinage d'urgence	V2V	position, cap, vitesse, accélération
Détection pré collision	V2V	type de véhicule, position, cap, vitesse, accélération, taux de dérive
Collision frontale	V2V	type de véhicule, position, cap, vitesse, accélération, taux de dérive
Assistance en virage à gauche	V2I ou V2V	Phase du signal, timing, position, direction, géométrie de la route
Avertissement de changement de voie	V2V	position, cap, vitesse, accélération
Panneau d'arrêt	V2I ou V2V	position, cap, vitesse, avertissements

1.6.7.5 APPLICATIONS DE SÉCURITÉ ET D'URGENCE

La première classe, c'est-à-dire les applications de sécurité, joue un rôle clé dans la protection des conducteurs. Il est principalement conçu pour éviter les collisions et les accidents et assurer la sécurité du conducteur et des passagers pendant leur trajet en leur fournissant des informations sur l'état du véhicule, les routes et les conditions météorologiques, etc. Nous donnons ci-dessous quelques cas d'utilisation :

-- Assistance aux intersections et au changement de voie : Sur les routes à plusieurs voies ou dans les intersections, les conducteurs se déplacent d'une voie à l'autre ou d'une route à l'autre, ce qui augmente le risque d'accidents.

Les services d'assistance aux intersections et au changement de voie permettent d'éviter les collisions en informant les conducteurs si la voie adjacente est libre ou non.

- Avertissement de risque de collision : lorsqu'une voiture dépasse la vitesse autorisée sur la route ou ignore un feu de circulation, les véhicules environnants ou les unités en bordure

de route envoient un message d'avertissement pour prévenir le conducteur de la voiture afin d'éviter la collision.

- Avertissement d'événements routiers : Lorsque des caméras, des radars ou un système efficace de surveillance visuelle des routes détectent des obstacles sur la route, il est important d'avertir les conducteurs d'éviter un accident ou d'informer les voitures suivantes qu'une collision a déjà eu lieu sur cette route. Cela réduira considérablement le taux de mortalité des accidents et les dommages économiques.

-Avertissement d'événement météorologique : Un véhicule informe les voitures suivantes et les voitures à venir qu'il y a un problème de visibilité dû au brouillard ou à tout autre problème de conduite causé par la présence de glace afin de réduire leur vitesse et d'être prudent.

- Avertissement de sauvetage : Lorsqu'une véhicule d'urgence (voiture de police, ambulance, etc.) s'approche d'autres véhicules, elle envoie un message d'avertissement pour demander aux véhicules qui la conduisent de traverser les voies afin de céder le passage et de le laisser passer.

- Gestion du stationnement : Dans ce cas d'utilisation, l'objectif est d'utiliser efficacement les ressources de stationnement et d'obtenir des informations sur les prix et la disponibilité des emplacements de stationnement. De plus, de nombreux véhicules modernes sont en mesure d'aider les conducteurs lorsqu'ils se garent.

- Services de planification d'itinéraires écologiques : Les services de planification d'itinéraires proposent des itinéraires recommandés aux conducteurs afin de réduire le temps de déplacement en évitant les itinéraires encombrés.

De plus, de nouvelles applications d'itinéraires traitent de la pollution et de la consommation d'énergie. Ils permettent une mobilité plus durable en calculant l'itinéraire le plus économique comme notre solution Ev-Drive.

1.6.7.6 APPLICATIONS CONFORT

Enfin, cette troisième classe d'applications vise à apporter du confort au conducteur et aux passagers pendant leur voyage. Les applications de confort représentent la convergence future des ordinateurs et des applications Smartphone. Ils fournissent aux voyageurs l'assistance et les divertissements dont ils ont besoin pour rendre leur voyage plus agréable. Grâce aux communications entre les véhicules, les passagers pouvaient télécharger des cartes routières, partager de la musique, des photos ou profiter de jeux partagés.

Ils offrent également de contrôler automatiquement la climatisation et les fenêtres en fonction de la température détectée et des informations recueillies sur la pollution. Les applications de confort n'exigent pas un critère de retard important comme les applications de sécurité. Cependant, ils peuvent avoir besoin d'importantes ressources en bande passante en fonction de la quantité d'informations échangées.

De nombreuses applications pertinentes sont proposées dans ce domaine, notamment :

- Applications d'infodivertissement et de publicité : Les véhicules ou les infrastructures routières diffusent des annonces sur les émissions, les fêtes et les spectacles et diffusent des publicités commerciales autour des points de vente et des magasins [125].

- Accès et services Internet : Ces services visent à se connecter à des pages web distantes, télécharger des fichiers et des jeux vidéo, utiliser les réseaux sociaux, etc. Actuellement, les passagers utilisent Internet par le biais de la communication cellulaire (3G, 4G, etc.).

Cependant, une capacité complète d'accès au Web sur les véhicules en mouvement est encore en cours de développement pour adopter les caractéristiques du contexte véhiculaire.

Dans la section suivante, nous traitons de l'application spécifique du streaming vidéo et des questions relatives à sa diffusion sur VANET.

1.7 Streaming vidéo dans les réseaux VANET

Les capacités de streaming vidéo sont soit indispensables, soit très précieuses pour un haut niveau de satisfaction des utilisateurs pour la majorité des applications et des services envisagés sur les réseaux VANET. Les dispositifs informatiques et les écrans d'affichage disponibles à l'intérieur des véhicules ne sont pas soumis aux mêmes contraintes que les dispositifs habituels des MANET. Par conséquent Ils sont capables de reproduire des vidéos de haute qualité.

La prise en charge du streaming vidéo sur les VANET peut être utilisée pour améliorer l'efficacité des interventions d'urgence en cas d'accident de voiture en diffusant une vidéo en direct depuis le lieu de l'accident. Ce flux serait disponible pour les ambulanciers qui pourraient se préparer aux soins appropriés avant même d'arriver sur les lieux. En outre, le même flux peut être acheminé aux hôpitaux pour que les médecins en attente puissent aussi commencer leur analyse. Le traitement initial donné par les ambulanciers pourrait également être diffusé dans les hôpitaux, aidant ainsi davantage les médecins à prendre des décisions éclairées.

En cas d'accident ou de collision, une vidéo en direct de la route peut être diffusée afin que les conducteurs puissent vérifier les conditions de circulation et décider les itinéraires à suivre pour se rendre à leur destination. Les conducteurs pourraient utiliser des flux vidéo en direct des routes avoisinantes afin d'utiliser ces informations pour estimer les conditions de circulation. Grâce à ces informations, ils sont en mesure de décider quels sont les itinéraires les plus rapides vers leur destination. Dans l'hypothèse où les véhicules sont équipés de caméras qui captent des images de leur voisinage, il serait possible pour les services de détection et de répression d'utiliser ces images pour identifier d'autres véhicules.

Les capacités de transmission vidéo peuvent également être utilisées pour divertir les passagers lorsqu'ils sont dans un véhicule. Une application intéressante qui permet de fournir des capacités de vidéoconférence afin qu'un passager dans un véhicule puisse communiquer avec une autre personne en direct avec flux vidéo/audio des deux côtés. Des jeux en ligne multi-joueurs pourraient également être proposés.

La prise en charge de la diffusion vidéo sur les réseaux VANET accentue au maximum les exigences et les défis de ces réseaux. La transmission de contenu vidéo diffère notablement selon les données générales en raison de la quantité d'informations généralement dans une vidéo et de la nécessité d'une livraison rapide des paquets, ce qui impose des exigences strictes en matière de délai et de rapport de livraison [126]. En outre, la gigue et le contrôle de la mémoire tampon doivent être pris en compte car ils ont un impact important sur la qualité de service offert aux utilisateurs finaux.

Le point le plus difficile en streaming vidéo sur VANET est de savoir comment atteindre des taux élevés de taux de transmission. Le taux de livraison est le pourcentage de paquets et / ou de trames reçus successivement par les nœuds par rapport au nombre total de paquets /

trames envoyés par la source. Il est difficile d'atteindre des taux de livraison plus élevés en raison du dynamisme de la topologie de VANET, de la nature sans fil des communications et de la présence fréquente de pelotons déconnectés.

Comme il a été souligné, le taux de livraison peut être constitué de paquets ou de trames dans le cas de vidéos.

Lorsqu'il s'agit de la transmission de la vidéo, la perte d'un paquet peut conduire à trois situations différentes : 1) un paquet perdu est directement lié à la perte du contenu complet d'une seule trame vidéo ; 2) un paquet peut contenir des informations de plus d'une trame, ce qui empêche les récepteurs d'assembler plusieurs trames ; et 3) un paquet peut contenir une information partielle d'une seule trame et les récepteurs peuvent assembler une trame perdue à partir d'autres paquets reçus. La perte de paquets est fortement liée à la perte d'une trame et souvent directement proportionnelle à la qualité de la vidéo reçue.

Outre le taux de livraison, et le délai représentent également un défi dans la diffusion de la vidéo streaming dans les réseaux VANET. Le délai est la différence de temps entre la reproduction d'une vidéo chez le destinataire et sa transmission par l'expéditeur. Elle est causée par le temps perdu par transmission réussie des données, entre la source et les destinations.

Les exigences de délai varient selon les applications, elles peuvent être moins exigeantes dans des services tels que la lecture de vidéos stockées (toutefois, un retard excessif entraînerait une dégradation importante de la qualité de service des utilisateurs).

Cependant, la majorité des applications dans les VANET qui nécessitent des capacités de transmission vidéo, sont destinées à des services où la vidéo doit être reproduite en temps réel sur les récepteurs. Dans ces scénarios, le délai de bout en bout ne doit pas dépasser quelques secondes [127]. Un ensemble d'applications encore plus exigeant est celui où les transmissions de vidéo sont interactives entre les utilisateurs dans les mêmes terminaux de la communication (par exemple, la vidéoconférence).. Ces services ne supportent pas des délais de quelques secondes mais plutôt de quelques centaines de millisecondes [127]. Bien que certaines solutions puissent fournir une moyenne de délai faible, leur variation pourrait avoir un impact négatif sur la capacité des récepteurs à reproduire les vidéos entrantes. La gigue est la métrique qui représente cette variation de délai. Comme il est montré dans [127], la gigue n'est pas une exigence limitative pour le streaming vidéo car si les exigences de délai sont satisfaites, des solutions simples telles que la mise en mémoire tampon devraient pouvoir la résoudre. La transmission vidéo est connue pour être une application exigeante en termes de consommation de bande passante. En raison de la grande quantité de données et de la nécessité d'une fréquence d'échange élevée (c'est-à-dire des débits de données élevés), les solutions de streaming vidéo devraient utiliser une quantité substantielle des ressources disponibles. Cependant, ces solutions doivent pouvoir s'adapter à un grand nombre de nœuds du réseau et de transmissions vidéo simultanées.

Dans [127], une étude est menée pour déterminer les exigences du réseau en matière de transmission vidéo. Bien que ces valeurs puissent varier en fonction de la technique de codage vidéo utilisée, elles constituent un guide fiable pour définir les exigences minimales. Les auteurs ont classé la transmission vidéo en deux catégories : la vidéo en continu et la vidéo interactive.

Le streaming vidéo est défini comme la transmission de contenu vidéo d'une source à un ou plusieurs récepteurs lorsque le contenu envoyé ne dépend d'aucun contenu vidéo produit par la réception des récepteur(s). La vidéo interactive est composée de deux ou plusieurs flux

vidéo où l'un influence l'autre, le meilleur exemple est celui de la vidéoconférence où différents utilisateurs communiquent par le biais d'un flux en direct capturé par leurs caméras.

La diffusion de vidéo streaming ne consiste pas uniquement des vidéos enregistrées (par exemple, un film ou une émission de télévision), mais peut également contenir du contenu en direct (par exemple, des conditions de circulation, une alerte d'accident). Le tableau 1.6 résume les exigences en matière de transmission vidéo sur des réseaux VANET dans les deux catégories susmentionnées [127].

Table 1. 6 Les exigences de qualité de service de la vidéo

Paramètres	Vidéo-streaming	Vidéo interactive
Le RATIO DE Délivrance	<5%	<1%
Le Délai	<5 secondes	<150 ms
La gigue	N/A	<30 ms

Comme mentionné précédemment, cette thèse met l'accent sur le premier ensemble d'applications : la diffusion en continu.

À ce stade, il est clair que le streaming vidéo sur VANET est une tâche extrêmement difficile et fondamentale pour le déploiement réussi de services utiles. Les défis peuvent être résumés dans la conception de solutions qui surmontent le dynamisme de la topologie des VANET, le support sans fil partagé, la densité non uniforme et la déconnexion afin de livrer avec succès les paquets contenant des informations vidéo en temps voulu sans consommer la majorité de la bande passante disponible. Dans cette thèse, nous décrivons en détail mes contributions à cet objectif.

Une tentative élaborée pour fournir une solution de diffusion vidéo réalisable est présentée dans [128]. Soldo et al. décrivent un protocole de couche mac, à savoir le Streaming Urban Video (SUV), qui vise à sélectionner et à programmer les nœuds relais en fonction de leurs positions et en fonction de l'expéditeur du saut précédent. Leur idée est de sélectionner quatre nœuds relais différents pour chaque émetteur, un dans chacun des secteurs 90° du cercle autour du nœud et idéalement à l'intérieur de l'anneau formé par une distance suffisante pour faciliter la diffusion vers l'ensemble du réseau avec peu de sauts mais aussi assez proche pour éviter les oscillations de connectivité.

Les SUV exigent que les nœuds voisins échangent des balises contenant leurs positions, l'heure (pour la synchronisation) et la liste des voisins à un saut avec leur position respective et la puissance du signal perçue lors de la réception de leurs propres balises. Toutes ces informations sont utilisées pour la sélection des nœuds relais et dans la planification de leur heure de transmission. Cette solution nécessite l'échange d'une grande quantité de données et la synchronisation (à la fois dans temps et l'information) de nombreux nœuds. Cela limite la contribution de cette solution en raison des coûts et de l'impossibilité de recueillir ces informations avec une grande précision.

Xie et al[129] ont mené une étude générale sur l'adéquation de certaines techniques de streaming vidéo unicast sur les VANET et en évaluant leurs performances. Leur première conclusion est que les approches basées sur les récepteurs surpassent les solutions basées sur l'expéditeur lorsqu'elles gèrent les changements constants de la topologie des VANET. Ils ont également analysé l'impact de la taille des mémoires tampons des nœuds intermédiaires sur le taux de distribution, car ils doivent stocker des paquets jusqu'à ce qu'un itinéraire vers la destination soit trouvé (dans le cas des solutions basées sur le récepteur, cela est lié au temps d'attente avant la diffusion des paquets). Ils ont conclu qu'il était nécessaire de tamponner une grande quantité de paquets pour atteindre des taux de livraison élevés. En outre, ils ont également étudié deux politiques différentes de largage en cas de débordement de mémoire

tampons et ils ont pu constater que si le temps de lecture des informations du paquet est pris en compte, des vidéos de meilleure qualité peuvent être assemblées sur les récepteurs. Cela signifie qu'il est préférable de supprimer les paquets contenant des informations sur les images qui sont lues précédemment dans la vidéo que de simplement supprimer les plus anciens paquets reçus. Les auteurs évaluent ces aspects à travers des scénarios avec différentes densités, et leurs observations indiquent que les protocoles fonctionnent mieux dans les scénarios de haute densité. Ce n'est pas toujours le cas, car les scénarios à densité excessive sont sujets à une augmentation des collisions qui détériorent les performances globales.

Les auteurs dans [30] se concentrent sur un scénario VANET où les unités au bord de la route (RSU) sont largement disponibles et où la plupart des transmissions vidéo se font directement de RSU vers les véhicules et où la communication multi-sauts ne dépasse pas trois sauts. Dans ce scénario, leur principale préoccupation est d'assurer un transfert transparent entre les unités RSU adjacentes et d'éviter le blocage de la lecture.

Ils adaptent le Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) [131] en fonction des caractéristiques spécifiques des réseaux VANET. Dans un travail précédent [132], les mêmes auteurs ont proposé un modèle analytique pour utiliser les exigences des applications vidéo aux protocoles des couches inférieures afin d'offrir une solution de QoS pour la transmission de la vidéo. La principale contrainte de ces travaux est l'hypothèse d'une large disponibilité d'unités en bord de route, de sorte que les problèmes de communication ad hoc sont le plus souvent négligés.

Certaines œuvres [133, 134] utilisent le codage de réseau pour la diffusion vidéo sur des VANET. Park et al. [133] suggèrent d'utiliser le codage de réseau dans la diffusion vidéo en obligeant les nœuds de relais à attendre la réception de blocs décodables entiers pour pouvoir acheminer les paquets nouvellement codés (avec un nouvel ensemble de coefficients aléatoires) et en améliorant ainsi la consommation de bande passante puisque les paquets uniques sont envoyés par différents nœuds. Toutefois, cette approche entraîne des retards prohibitifs après quelques sauts de communication. Yang et al. [134] utilisent la coopération voisine de manière à ce que les nœuds relais puissent détecter les nœuds n'ayant pas reçu suffisamment de paquets pour décoder des blocs. En effet, les nœuds relais encodent de nouveaux paquets provenant des mêmes blocs et les diffusent. Le codage par les nœuds intermédiaires est l'un des avantages du codage du réseau. Cependant, son utilisation dans le streaming vidéo entraîne un retard excessif, car de nouveaux paquets codés ne peuvent être créés que lorsque les nœuds relais reçoivent suffisamment de paquets pour déjà décoder un bloc entier.

Le codage de réseau est également utilisé dans [135] pour gérer la perte de paquets dans le streaming vidéo sur des VANET. Les auteurs ont utilisé le codage en réseau sur une vidéo divisée en couches différentes par le biais de MDC de manière à ce que les paquets contenant des trames provenant de la même couche. Ainsi, la réception d'un nombre insuffisant de paquets pour le décodage d'un bloc n'affecte pas les différentes couches. En outre, ils ont utilisé la logique floue pour déterminer de manière dynamique la quantité de redondance envoyée en fonction de la densité locale des nœuds et des interférences de canaux.

Sardari et al [136] utilisent un codage par effacement sans débit pour la diffusion du contenu vidéo. sur les VANET. Dans leur modèle, les RSU transmettent des paquets codés avec effacement sans débit et les informations sont acheminées par les véhicules (de manière différée) lorsqu' ils ne sont à la portée d'aucun RSU. L'inconvénient évident de cette approche est que l'utilisation de la mobilité des véhicules augmente excessivement le retard de bout en bout subi par les utilisateurs.

1.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous analysons le processus d'évolution des STI, depuis le début de l'idée jusqu'à la mise en œuvre de technologies de pointe modernes. Dans le cadre de cette analyse, un aperçu des principales étapes du développement et de la normalisation a été réalisé. Il est démontré que la structure intégrée des STI comprend un large éventail de technologies modernes et de protocoles de communication sans fil conçus pour organiser une infrastructure mondiale permettant la fourniture de divers services d'information. D'après les résultats de l'analyse, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

-À l'heure actuelle, le concept d'organisation des STI revêt un caractère assez clair et défini, qui se traduit par l'adoption de normes et de spécifications mondiales décrivant les points essentiels de la mise en œuvre.

-L'extension de la sphère des technologies de l'information dans le domaine des systèmes de transport a entraîné la naissance de nouvelles tâches appliquées au développement et à la mise en œuvre de services correspondant à cette direction de développement.

-La fourniture de services continus aux utilisateurs de STI est associée à la nécessité de surmonter un certain nombre de difficultés causées par les spécificités des réseaux VANET dynamiques et auto-organisés.

-Les services des applications liés à la transmission des données au sein du réseau VANET sont extrêmement sensibles aux retards et aux perturbations du canal, en particulier la compression des données, ce qui nécessite l'utilisation d'approches spéciales pour leur mise en œuvre, ce qui est l'objectif du chapitre suivant.

ChAPiTrE

Analyse des performances des données sur le réseau Ad-hoc véhiculaire

Sommaire

2.1	Introduction.....	51
2.2	Etude de la compression des images par ondelettes : Norme JPEG2000	52
2.2.1	Compression d'image	52
2.2.2	La norme JPEG2000(Joint Photographic Experts Group 2000).....	53
2.2.3	Transformée en ondelettes :.....	53
2.2.4	Discrete Wavelet Transform (DWT).....	54
2.2.4.1	Principe	54
2.2.4.2	Application de la TOD (transformée en ondelette discrète) sur une image	55
2.2.5	Résultats & Analyse :	58
2.3	Vidéo Streaming :	66
2.3.1	La vidéo Streaming à travers les réseaux ad-hoc :.....	66
2.3.1.1	802.11g Norme :.....	68
2.3.2	Le modèle de distribution du H264 AVC.....	68
2.3.3	Les Problèmes fondamentaux de Streaming :.....	69
2.3.4	Résultats et analyse	69
2.3.4.1	Paramètres d'évaluation utilisés	70
2.3.4.1.1	Les paramètres et attributs adoptés pour la simulation de la visioconférence	70
2.4	CONCLUSION	74

2.1 Introduction

Les communications sans fil ont transformé notre mode de vie de manière positive, en nous permettant d'échanger des informations avec souplesse et sans heurts sur le réseau, quels que soient la position et l'heure [137,138]. En effet, le partage de données est devenu beaucoup plus facile grâce à l'incorporation de diverses applications pour des niveaux élevés de mesures de sécurité, d'efficacité du trafic, de confort, etc. [140,141].

Le concept de véhicules en réseau a suscité un intérêt énorme de la part de toutes les communautés scientifiques du monde entier. La tendance est de rendre la conduite bien meilleure, sans risque [142], plus efficace [143], une zone urbaine informée et plus agréable pour les passagers, accès à Internet, médias sociaux, conseils permettant aux conducteurs de se suivre, etc. [144, 145].

Dans ce contexte, de nombreuses confrontations ont été évoquées telles que la sécurité, la connectivité, le protocole de routage et la gestion de la mobilité [149], tandis que les contenus eux-mêmes ne sont pas prises en compte [150].

Pour cela, la compression des données à une grande importance surtout dans le domaine informatique et le domaine d'échange de données par internet, cette importance est due au fait que les serveurs internet offre une bande passante limitée. Par exemple si on a un volume de données de vingt méga octets on ne peut pas l'envoyer à travers un serveur de messagerie car sa bande passante est beaucoup plus petite que le volume des données, d'où la nécessité de la compression pour réduire les coûts et les ressources.

En effet, la compression d'image constitue un cadre applicatif naturel d'un grand nombre de techniques développées.

Par conséquent, même s'il existe de nombreuses études consacrées aux compressions, nous affirmons qu'il manque dans la littérature des études sur notre besoin spécifique en compression.

Pour répondre aux contraintes mentionnées ci-dessus, l'objectif principal de cette enquête est de fournir une meilleure comparaison qualitative et quantitative.

Dans ce chapitre, nous allons étudier les principales caractéristiques des ondelettes qui influent sur la compression d'image en utilisant la transformée en ondelettes discrètes, et d'aboutir à une compression de données d'images tout en gardant la qualité essentielle de l'image originale, c'est-à-dire, avoir un bon compromis entre le PSNR (Peak Signal Noise Ratio) et le taux de compression des images.

Pendant ce travail il nous a été confié de traiter les différentes étapes de la compression d'images en utilisant la transformée d'ondelette discrète (DWT: discrete wavelet transform).

En second lieu, la diffusion de données vidéo dans l'ad-hoc représente un enjeu majeur en raison de l'immense enrichissement considérable de l'information vidéo perçue par l'utilisateur et de la connaissance du monde environnemental dans plusieurs applications telles les appels vidéo de secours, la circulation routière, le tourisme...

Toutefois, la transmission de données vidéo dans le réseau ad hoc véhicule est une opération ardue, en raison des exigences strictes en matière de qualité de service du trafic vidéo. Il devient alors nécessaire d'établir des stratégies de transmission spécifiques pour surmonter cette problématique.

De ce fait, nous nous intéressons aussi dans ce chapitre sur la qualité de service qui permet d'évaluer la performance d'une transmission en continu. Ce concept de qualité de service devra faire face à plus de contraintes au niveau des réseaux ad-hoc.

En même temps, nous nous penchons sur l'analyse de la mobilité dans les réseaux ad hoc de véhicules et sur la simulation de divers facteurs de performance en termes de bande passante, de taux de perte, de retard de paquets de bout en bout, de gigue de paquets et de débit de plusieurs véhicules sur des réseaux ad-hoc.

Notre simulation est réalisée à l'aide du simulateur OPNET Modeler afin de contrôler la nature du trafic multimédia sur différents protocoles.

2.2 Etude de la compression des images par ondelettes: Norme JPEG2000

2.2.1 Compression d'image

De nombreuses études ont porté sur des techniques de compression d'images, nous nous intéressons ici à la compression avec pertes, plus précisément la compression par les ondelettes [139, 140], plus connue sous le nom de la norme JPEG2000 (Joint Photographic Experts Group 2000).[148][149], qui est devenue en quelques années un sujet de recherche très débattu.

La compression d'image permet de réduire le nombre de bits nécessaires pour représenter l'image [147], donc la quantité de mémoire requise pour stocker l'ensemble de données sera réduite. Elle réduit également la quantité de temps nécessaire pour transmettre un ensemble de données via un lien de communication à un débit donné.

Différentes méthodes sont développées pour effectuer la compression de l'image.

Le taux de compression est l'un des paramètres quantitatifs pour mesurer les performances des méthodes de compression. Le taux de compression est défini comme rapport entre la taille initial des données initiales et la taille de l'ensemble de données compressées.

$$\text{Taux de compression} = \frac{\text{taille originale}}{\text{taille compressée}} \quad (2.1)$$

L'objectif de la compression est de réduire la quantité de mémoire nécessaire pour le stockage d'une image ou de manière équivalente de réduire le temps de transmission de celle-ci. Cette compression peut soit conserver l'image intacte, on parle alors de compression sans perte, soit autoriser une dégradation de l'image pour diminuer encore l'empreinte mémoire, on parle ici de compression avec perte. La première méthode est limitée à des facteurs de compressions (rapport entre la taille mémoire originale et la taille comprimée) du troisième ordre tandis que la seconde permet des facteurs beaucoup plus grands au prix de cette dégradation de l'image.

La compression d'image peut se faire de deux façons : avec ou sans perte. La première méthode est utilisée pour les images artificielles (- La compression par la transformation discrète du cosinus [154], La compression fractale[153], La compression par la transformation en ondelettes discrètes). En effet, lorsqu'on utilise notamment les méthodes de compression avec perte à faible débit, il présente des défauts de compression. Pour la deuxième méthode de compression, celle de la compression sans perte peut être utilisée pour assurer une grande précision, comme pour les images médicales. (La méthode de codage de répétition. Codage d'entropie [155], Algorithmes pour dictionnaire adaptatif tel que LZW[154], Dictionnaire adaptatif tel que les algorithmes LZW[154]).

Le codage par transformation consiste à appliquer la transformation à l'image, suivie d'un codage par quantification et par entropie.

En fait, la transformée en ondelettes (utilisée en DWT) a l'avantage de faire ressortir à la fois les grandes variations et les détails de l'objet analysé, ce qui ne permet pas la transformation de Fourier (utilisée en DCT).

Dans une image, la transformée de Fourier utilisée pour caractériser globalement notre image en fréquence, tandis que la transformée en ondelettes détectera les zones riches en information (zones à fort contraste) et les séparera.

2.2.2 La norme JPEG2000(Joint Photographic Experts Group 2000)

Lorsqu'on aborde le sujet de la compression d'images, la première norme qui nous vient à l'esprit est JPEG (Joint Photographic Experts Group). L'algorithme de compression JPEG2000, [147][142] offre plus d'avantages que JPEG (Joint Photographic Experts Group), car il suit les mêmes étapes que JPEG mais avec une seule différence qui est majeure, au lieu de la transformée en cosinus discrète il utilise la transformée en ondelettes discrète qui nous offre plus d'avantages.

L'algorithme typique de la compression JPEG2000(Joint Photographic Experts Group 2000) se divise essentiellement en 5 modules [148] [149]: transformée couleur, sous échantillonnage, transformée en ondelettes discrète, quantification, codage de Huffman.

Le schéma ci-dessous présente les étapes de cette norme de compression [143] :

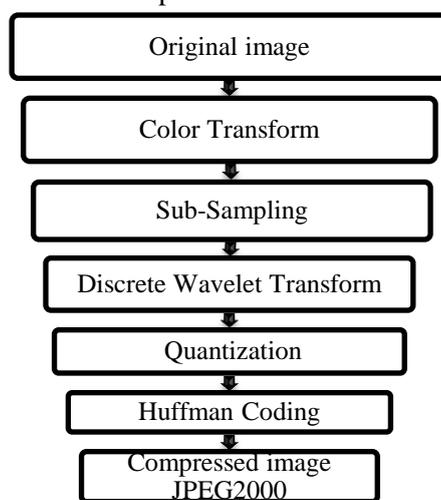


Figure 2. 1 Les étapes de la norme JPEG2000

2.2.3 Transformée en ondelettes :

Si la transformée de Fourier est plus adaptée pour les signaux périodiques ou les images avec des structures géométriques régulières, elle ne communique des informations que sur le contenu fréquentiel du signal, tant que La transformée en ondelettes permet une analyse multirésolution des images, ce qui signifie qu'elle peut détecter des structures à différentes échelles de l'image. Cela permet de mettre en évidence une analyse plus précise des images, du aux structures de différentes tailles peuvent être identifiées et étudiées en même temps.

Comme DCT(discrete cosine transform), la transformée en ondelettes discrète transforme une image en composantes de fréquence. Le processus est exécuté sur toute l'image, qui se diffère avec les autres méthodes de (DCT: discrete cosine transform), qui travaille sur les petits morceaux de données souhaitées. Le résultat est une représentation hiérarchique d'une image, où chaque couche représente une bande de fréquence.

La transformée en ondelettes est similaire à la transformée de Fourier (et encore plus à la transformée de Fourier locale) avec une fonction de mérite complètement différente [140]. La différence principale est la suivante : la transformée de Fourier décompose le signal en sinus et en cosinus, c'est-à-dire en fonctions localisées dans l'espace de Fourier ; contrairement à la transformée en ondelettes qui utilise des fonctions localisées à la fois dans l'espace réel et dans l'espace de Fourier. De manière générale, la transformée en ondelettes peut être exprimée avec l'équation

suivante [144] :

$$F(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi^*(a, b) dx \quad (2.2)$$

Où le symbole ψ^* désigne le conjugué complexe et ψ est une fonction donnée. Cette fonction peut être choisie arbitrairement à condition qu'elle obéisse à certaines règles.

Comme on peut le voir, la transformée en ondelettes est en fait un ensemble infini de diverses transformées, dépendant de la fonction de mérite utilisée pour la calculer. C'est la raison pour laquelle nous pouvons entendre parler de la « transformée en ondelettes » dans des contextes et applications très divers. Il existe aussi de nombreuses manières de classer les types de transformées en ondelettes. Nous ne présentons ici que la division basée sur l'orthogonalité des ondelettes. Nous pouvons utiliser les ondelettes orthogonales pour le développement en ondelettes discret et les ondelettes non-orthogonales pour le développement en ondelettes continu.

2.2.4 Dicrete Wavelet Transform (DWT)

2.2.4.1 Principe

Quand on parle du domaine ondelettes [140] ou transformée en ondelettes, nous entendons la transformée en ondelettes discrète (DWT: discrete wavelet transform).

La transformée en ondelette discrète, ou TOD (en anglais Discrete Wavelet Transform, ou DWT) est une technique utilisée dans la compression de données numériques avec perte.

La transformée en ondelettes discrète (DWT, Discrete Wavelet Transform) est une implémentation utilisant un ensemble discret d'échelles et de translations d'ondelettes obéissant à certaines règles et certaines conditions mathématiques, par exemple l'équation de dilatation.

$$\phi(x) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k \phi(Sx - k) \quad (2.3)$$

Où S est un facteur d'échelle (prenant généralement une valeur de 2), et a_k ensemble fini de coefficients définissant la fonction d'échelle ainsi que l'ondelette.

En d'autres termes, cette transformée décompose le signal en un ensemble d'ondelettes mutuellement orthogonales, ce qui constitue la différence principale avec la transformée en ondelettes continue, ou son implémentation en séries discrètes dans le temps parfois appelée transformée en ondelettes continue discrète dans le temps (DT-CWT, discrete-time continuous wavelet transform).

La transformée en ondelettes discrète retourne un vecteur de données de même longueur que les données d'entrée. Généralement la plupart des valeurs de ce vecteur sont pratiquement nulles. Cela vient du fait qu'elle décompose en un ensemble d'ondelettes (fonctions) orthogonales par translation et par homothétie. On décompose ainsi le signal en un nombre égal ou inférieur de coefficients du spectre d'ondelettes que le nombre de points de données du signal. Un tel spectre d'ondelettes est très bon pour le traitement du signal et la compression, par exemple, car nous n'obtenons ici aucune information redondante.

2.2.4.2 Application de la TOD (transformée en ondelette discrète) sur une image

Pour faire une compression d'image par ondelettes, on doit travailler avec la TOD (Transformée en ondelette discrète) car on manipule des matrices c'est-à-dire des données discrètes, ou des nombres entiers.

Une simple méthode pour appliquer la TOD (transformée en ondelette discrète) consiste à prendre la matrice de départ appelée LL0 (image que l'on veut compresser) et de procéder comme suit :

- On groupe les coefficients en carré de 4.
- On fait alors la moyenne de ces 4 coefficients pour chaque carré, le résultat est une matrice 4 fois plus petite que LL0 qu'on appellera LL1.
- A partir des mêmes carrés, on fait la différence entre les coefficients du haut et ceux du bas, et on fait la moyenne des deux résultats obtenus, on obtient une nouvelle matrice qu'on appellera LH1, elle aussi 4 fois plus petite.
- Puis, on fait de même, la différence entre les coefficients de gauche et ceux de droite et on stocke les résultats dans une sous-matrice qu'on nommera HL1.
- Enfin on fait un dernier calcul, mais cette fois, on fait la différence de la différence (au lieu de la moyenne) et on appellera la sous-matrice obtenue HH1.
- On a donc obtenu 4 matrices 4 fois plus petite qu'on a appelé LL1, LH1, HL1, HH1. On place ensuite ces 4 matrices dans une nouvelle matrice de la manière suivante : [2]

LL_1	LH_1
HL_1	HH_1

Figure 2. 2 Première étape de l'algorithme de la TOD

LL_2	LH_2	LH_1
HL_2	HH_2	
HL_1		HH_1

Figure 2. 3 Deuxième niveau du TOD

Les sous-matrices LL1, HH1, LH1, HL1 sont appelés "sous-bandes". On fait ensuite subir exactement la même transformation à LL1, et ainsi de suite, jusqu'à que LLn soit réduit à un point, on parle d'une TOD (transformée en ondelette discrète) complète de la matrice.

Lorsqu'on applique la même méthode jusqu'à une sous bande k on dit qu'on appliqué une TOD (transformée en ondelette discrète) de niveau k.

On a évoqué précédemment que les basses fréquences (approximation) se situent en haut à gauche alors que les hautes fréquences (détails) se situent en bas. Donc la sous bande LLN représente évidemment l'approximation et les autres sous bandes HL, LH et HH [2] représentent

respectivement les détails verticaux, horizontaux et diagonaux. [140]

▪ ***Quantification : (Quantization)***

La quantification est l'étape qui dégrade l'image, c'est l'étape dans laquelle on a une réelle perte d'informations, mais c'est également grâce a cette étape que l'on diminue grandement le poids de l'image.

Le but de la quantification est de ramener les hautes fréquences (peut visible a l'œil) à 0 dans la matrice, car plus il y a de 0 dans la matrice, moins l'image prendra de place après le codage.

Dans le processus de quantification, chaque échantillon est ajusté par le facteur de quantification. Néanmoins, dans le processus de seuillage des échantillons sont éliminés si la valeur de l'échantillon est inférieure à la valeur de seuil définie. Ces deux méthodes sont responsables de l'introduction de l'erreur et il conduit à la dégradation de la qualité d'image. La dégradation est basée sur la sélection du facteur de quantification et la valeur de seuil. Pour la valeur élevée du seuil, la perte d'informations est plus, et pour une faible valeur de seuil, la perte d'informations est inférieure. En tenant compte de la perte résultante de l'information, la sélection du seuil doit être faible. Ainsi le facteur de quantification, ou la valeur de seuil doivent être choisis d'une manière à ce qu'elle devrait satisfaire aux contraintes de système visuel humain pour une meilleure qualité visuelle et un taux de compression élevé. Le système visuel humain est moins sensible au signal de haute fréquence et plus sensibles aux signaux de basses fréquences [155].

Dans la technique de compression d'image deux types de seuillage sont utilisés :

- Seuillage dur ou "hard thresholding"
- Seuillage doux ou "soft thresholding"

Dans la technique de seuillage dur, si la valeur du coefficient est inférieure à la valeur du seuil définie, le coefficient est réduit à zéro, sinon la valeur du coefficient est maintenue tel quelle. Ce processus est répété jusqu'à ce que tous les pixels de l'image soient épuisés.

▪ ***Codage de Huffman***

On procède de la même façon que dans la norme de compression JPEG (Joint Photographic Experts Group).

On attribue à chaque caractère (Feuille de l'arbre) la séquence binaire obtenue en parcourant l'arbre et en ajoutant un 1 a la séquence si on prend la branche dont le nœud a la plus petite étiquette et un 0 si on prend la branche dont le nœud a la plus grande étiquette. On obtient avec cette méthode des séquences uniques et aucune séquence n'est préfixe d'une autre ce qui lève toute ambiguïté lors de la lecture du fichier compressé.

▪ ***Algorithme de Haar***

Les ondelettes de Daubechies sont la base des ondelettes orthogonales largement utilisées. Il y en a 10, numérotés de 2 à 20 (pour les nombres entiers pairs). Le D2 est l'ondelette Haar.

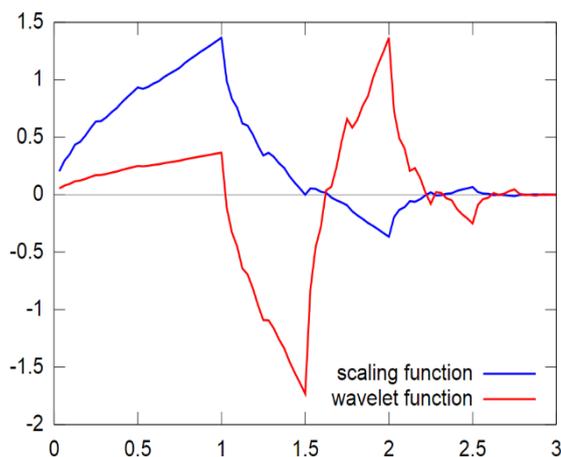


Figure 2. 4 Les ondelettes de Daubechies

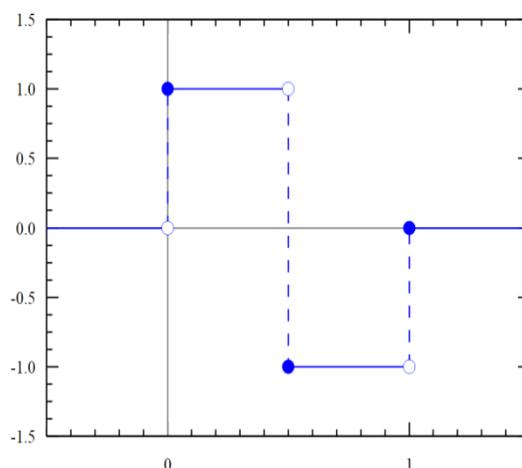


Figure 2. 5 Les ondelettes de Haar

Une image en noir et blanc peut être considérée comme un ensemble de pixels, chaque pixel représentant un niveau de gris. On peut modéliser cette image par une matrice carré de taille égale à la résolution de l'image. Pour une image en couleur, il suffit de considérer trois images, chacune représentant le niveau de rouge, de vert et de bleu de l'image originale.

Il existe une infinité de fonctions de base multi - échelles, i.e. d'ondelettes, mais pour chaque type d'ondelette il y a une soit dite fonction "mère" à l'aide de laquelle toutes les fonctions de la base sont "fabriqués". Dans cette page nous allons introduire les ondelettes de Haar [7], les plus simples et premières à être utilisées dans l'analyse du signal. (*) Pour cette famille la fonction mère est la fonction $\varphi(x)$ définie comme :

$$\varphi(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \in [0,1[\\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.4)$$

La famille d'ondelettes de sous division i est dans ce cas la famille de fonctions $\psi_j^i(x)$ pour $0 \leq j \leq 2^i$, où la fonction $\psi(x)$ est la fonction suivante :

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } 0 \leq x < \frac{1}{2} \\ -1 & \text{if } \frac{1}{2} \leq x < 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

On observe que la base de Haar ainsi construite est orthogonale mais elle n'est pas orthonormée. Pour assurer la normalité il faut remplacer $\psi_j^i(x)$ avec $2^{i \setminus 2} \psi_j^i(x)$, en raison du produit scalaire $2^{i \setminus 2} \psi_j^i(x) 2^{i \setminus 2} \psi_j^i(x) = 1$.

Pour mettre en application la méthode de Haar on pourrait considérer la matrice comme une ag en mettant ses lignes bout à bout.

On procède en 2 étapes :

A. On transforme en ondelettes chaque ligne de l'image, 2 par 2 : on obtient une approximation de l'image et des détails. Cependant on perd le lien avec les colonnes.

B. On prend l'approximation de l'image et on transforme de nouveau en ondelettes, en procédant cette fois sur les colonnes [7]. Finalement on obtient une image d'approximations et 3 images de détails.

Cet algorithme de différentiation sommation se traduit par la multiplication matricielle à l'aide d'une matrice contenant beaucoup de 0.

Voici l'algorithme utilisé :

on reçoit un signal de la forme $s(p) = \sum_{k=0}^{2^{p-1}} s_{p-k} \Phi_{p-k}$, on le décompose en $s_p = s_{p-1} + d_{p-1}$ et on transforme d_{p-1} en \overline{d}_{p-1}

$$\overline{d}_{p-1} = \sum_{k=0}^{2^{p-1}} d_{p-1,k} \Psi_{p-1,k} \quad (2.6)$$

$$\overline{d}_{p-1,k} = d_{p-1,k} \text{ si } |d_{p-1,k}| \geq \varepsilon \text{ et } \overline{d}_{p-1,k} = 0 \text{ else .}$$

Ensuite, le processus est répété avec le signal s_{p-1}

2.2.5 Résultats & Analyse :

Le but de notre travail est d'effectuer la compression de données d'images avec la technique de la transformée en ondelettes discrète (DWT: discrete wavelet transform) tout en gardant la qualité essentielle de l'image originale, c'est-à-dire, avoir un bon compromis entre PSNR (Peak Signal Noise Ratio) et le taux de compression.

Les ondelettes choisies pour le test sont classées par famille. Chaque famille a un ensemble d'ondelettes dont le numéro qui suit le nom, indique l'ordre des filtres utilisé pour leurs conceptions.

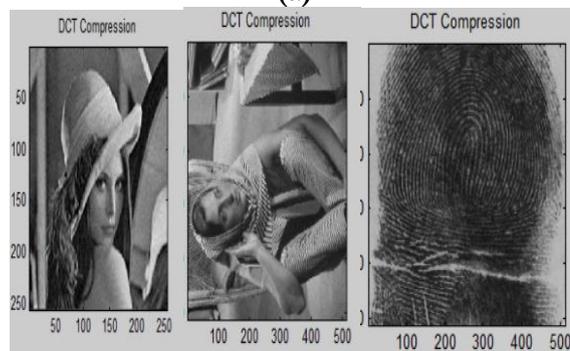
Les ondelettes utilisées dans le test sont :

- Ondelettes biorthogonales: Bior2.2, Bior3.3, Bior4.4, Bior5.5 et Bior6.8.
- Biorthogonale wavelets Bior2.2, Bior3.3, Bior4.4, Bior5.5 and Bior6.8.
- Ondelettes de Daubechies: Haar, Db2, Db3, Db4, Db5, Db6, Db7, Db8, Db9, Db10 et Db11.
- Daubechies wavelets: Haar, Db2, Db3, Db4, Db5, Db6, Db7, Db8, Db9, Db10 and Db11.
- Ondelettes de Coiflets : Coif1 et Coif4.
- Coiflets wavelets: Coif1 and Coif4.

Ces ondelettes sont à support compact ce qui correspond à des filtres à réponse impulsionnelle finie (RIF).



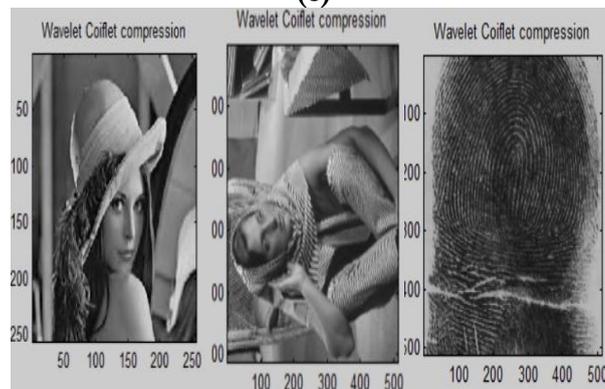
(a)



(b)



(c)



(d)

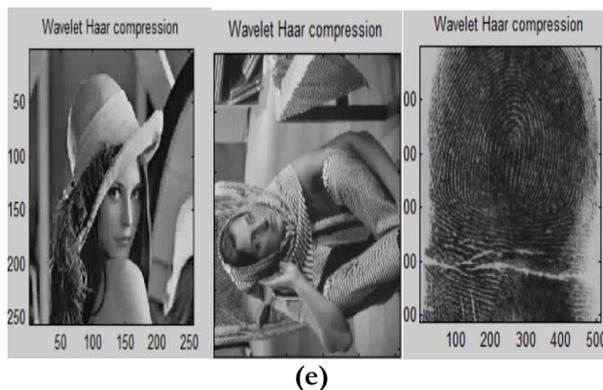


Figure 2. 6 Compression des images 'Lenna','Woman','Fingerprint' en utilisant les ondelettes de: 'dct','haar','coiflet','Daubechies'.

(a): Image originale; (b): Compression par 'dct'; (c): Compression DWT par 'Daubechies'; (d) Compression dwt par 'coiflet '; (e): Compression DWT par ' haar '.

D'après la figure 2.6 on peut remarquer que la compression DWT(discrete wavelet transform) de ' Daubechies ' donne de très bon résultat par rapport aux autres ondelettes au niveau de la qualité de l'image compressée.

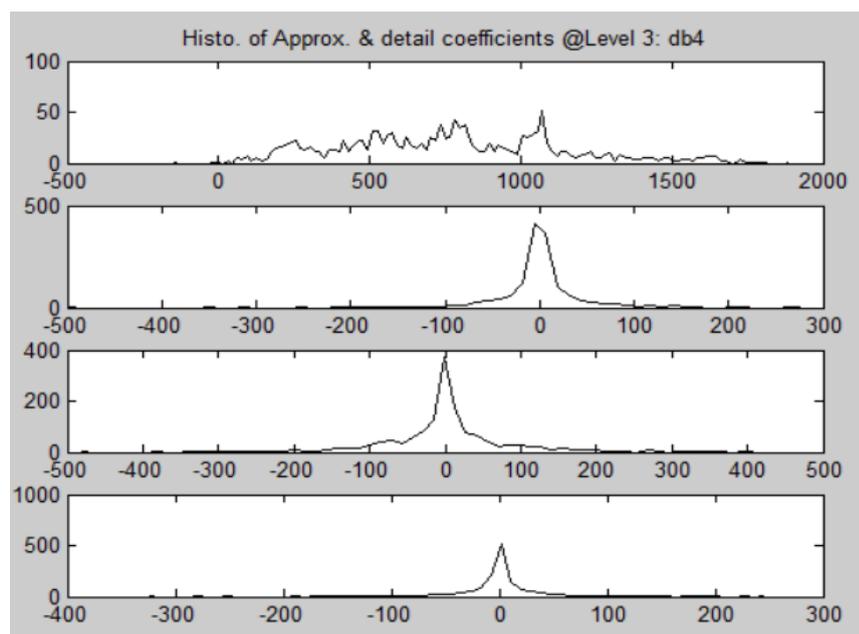


Figure 2. 7 Histogrammes des coefficients DWT du 3^{ème} niveau de l'image de Lenna par ondelettes de Daubechies 2 "db2".

(a) :histogramme des coefficients d'approximation LL3, (b) histogramme des coefficients de détail HL3, (c) histogramme LH3 coefficients de détail, (d) histogramme HH3 coefficients de détail.

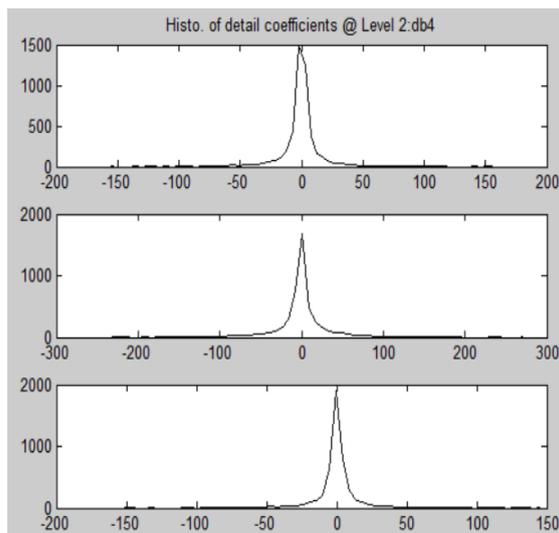


Figure 2. 8 Histogrammes des coefficients DWT 2ème niveau de l'image de Lenna par l'ondelette de Daubechies2 'db2'.

(a) histogramme des coefficients d'approximation LL3, (b) histogramme des coefficients de détails HL3, (c) histogramme de coefficients de détail LH3, (d) histogramme de coefficients de détail HH3.

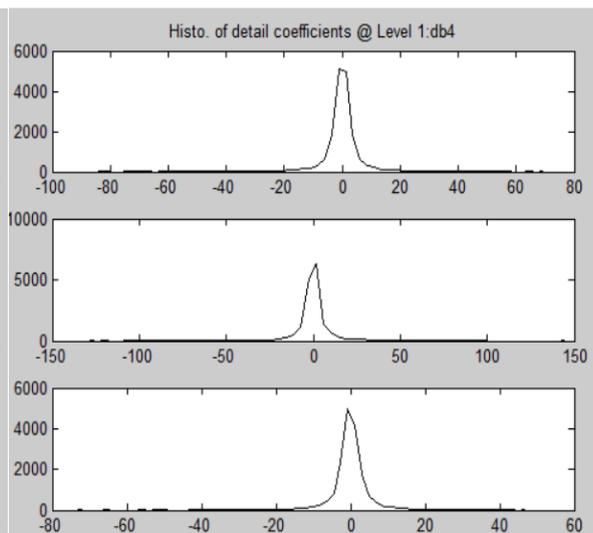


Figure 2. 9 Histogrammes des coefficients DWT 1^{er} niveau de l'image de Lenna par l'ondelette de Daubechies2 'db2'.

(a) histogramme des coefficients d'approximation LL3, (b) histogramme des coefficients de détails HL3, (c) histogramme de coefficients de détail LH3, (d) histogramme de coefficients de détail HH3.

D'un point de vue de compression, l'énergie compactée en quelques coefficients DWT (discrete wavelet transform) permet d'obtenir un haut degré de compression d'image. D'après les figures au-dessus, on a calculé les amplitudes des coefficients DWT(discrete wavelet transform) à différentes échelles et orientations. On remarque que tous les coefficients de détails ont des histogrammes qui ressemblent à la double distribution exponentielle (Figures 2.7,2.8,2.9).

Table 2. 1 Pourcentage de l'énergie totale dans les coefficients DWT pour l'image de Lenna

Level	Db15	Haar	Coif2	Db4	Bior2.2
LL₃	98.12	95.25	97.23	97.30	96.13
HL₃	0.0295	0.2319	0.0736	0.0819	0.0865
LH₃	0.0848	0.5579	0.1902	0.2250	0.1953
HH₃	0.0213	0.1008	0.0455	0.0524	0.0257
HL₂	0.0660	0.3606	0.1458	0.1544	0.2592
LH₂	0.2184	0.9346	0.4576	0.4961	0.6851
HH₂	0.0613	0.1735	0.1100	0.1268	0.1379
HL₁	0.2303	0.4770	0.4820	0.3482	0.5386
LH₁	1.0090	1.6111	1.0795	0.9877	1.6149
HH₁	0.1591	0.3050	0.1842	0.2271	0.3289

Le tableau 2.1 montre le pourcentage d'énergie à trois niveaux à chaque échelle et chaque orientation en utilisant les ondelettes orthogonales de Haar 'haar', Daubechies 'db4','db15', et Coiflet 'coif2', ainsi que les ondelettes bi-orthogonales 'bior2.2'.

On remarque que l'ondelette Daubechies compacte l'énergie dans les coefficients d'approximation plus que les autres ondelettes

On peut déduire que les ondelettes orthogonales permettent d'établir un pourcentage meilleur et plus satisfaisant que les ondelettes bi-orthogonales au niveau du compactage d'énergie. Nous observons également que presque toute l'énergie réside dans les coefficients d'approximation ce qui montre qu'un haut degré de compression a été réalisé.

Une propriété importante d'une transformation d'orthogonalité est qu'il conserve l'énergie. Les coefficients DWT (discrete wavelet transform) est égale à la somme des distortions dans chaque sous -bande. Par conséquent, Il permet de quantifier les sous-bandes individuelles à différents niveaux pour atteindre un niveau élevé de la compression et une bonne qualité visuelle.

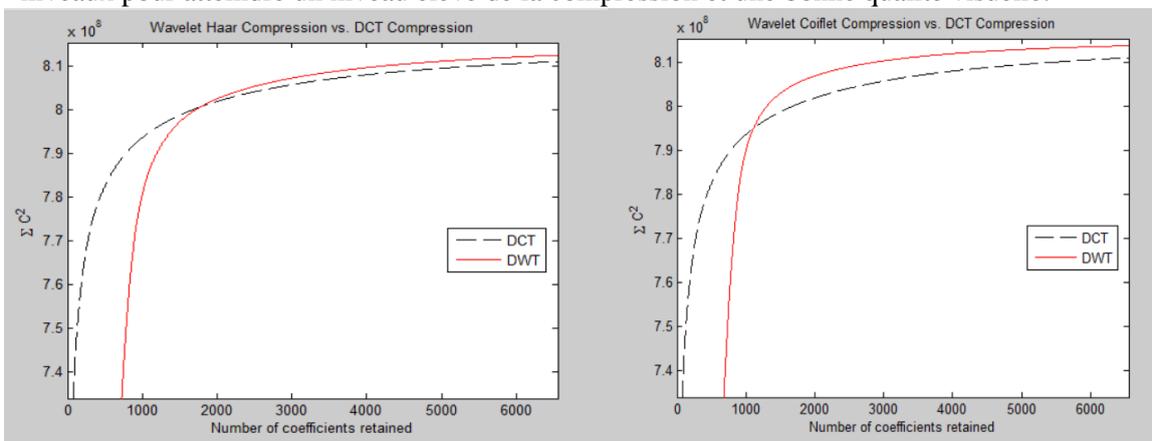


Figure 2. 10 Comparaison entre la compression DWT de 'haar' et la DCT au niveau d'énergie

Figure 2. 11 Comparaison entre la compression DWT de 'coiflet' et la DCT au niveau d'énergie.

Les figures 2.10 et 2.11 s'avèrent que l'énergie compactée est proportionnelle avec le nombre des coefficients, lorsqu'on augmente le nombre des coefficients, l'énergie augmente aussi. On peut remarquer que la DWT (discrete wavelet transform) surpasse la DCT (discrete cosine transform) en termes d'énergie et atteint une valeur maximale égale à 8.1×10^8 db.

Si on compare l'ondelette 'haar' avec l'ondelette 'coiflet', on peut dire qu'elles ont un comportement vraisemblable mais avec une légère différence.

Pour l'évaluation de la qualité des images après compression, on mesure la qualité de construction de l'image par rapport à l'image originale (PSNR : rapport signal sur bruit) en fonction du taux de compression (TC).

Le PSNR (Peak Signal Noise Ratio) ou rapport de signal crête sur bruit est une mesure simple et efficace de la distorsion ou "différence" entre deux images. Il se mesure en dB, et se calcule à partir de MSE : Mean Square Error) selon :

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_{i=0}^{p-1} (a_i - b_i)^2 \quad (2.7)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (2.8)$$

Un PSNR (Peak Signal Noise Ratio) de plus de 30 dB entre deux images signifie généralement qu'il n'y aucune différence visible entre ces deux images. Un PSNR inférieur à 20 dB signifie généralement que les deux images sont très différentes.[147]

Le TC (taux de compression) représente le pourcentage du nombre de coefficients de l'image originale non utilisé dans la reconstruction de l'image. Il est calculé en évaluant le nombre de zéros après transformation et quantification.

Le tableau 2.2 représente les résultats de compression de deux images par la transformée en ondelettes. Les ondelettes utilisées pour la compression d'images sont des ondelettes de la famille bi-orthogonale.

Pour différents ordres d'ondelettes bi-orthogonales, nous avons différents PSNR(Peak Signal Noise Ratio). Dans le tableau 2.2, la compression de l'image woman par les différentes ondelettes bi-orthogonales, visualise une variation du PSNR(Peak Signal Noise Ratio) de 29.188 dB à 31.9355 dB; alors que la compression de l'image fingerprint par les mêmes ondelettes donne une variation du PSNR de 25.7967 dB à 28.7986dB. L'image fingerprint présente un PSNR (Peak Signal Noise Ratio) très faible en comparaison avec le PSNR (Peak Signal Noise Ratio) de l'image woman. Ceci est dû au fait que l'image fingerprint présente plus d'activité spectrale en comparaison avec l'image woman. On peut conclure que plus l'activité spectrale est élevée plus le PSNR(Peak Signal Noise Ratio) est faible.

wavelet	woman			fingerprint		
	PSNR	MSE	TC	PSNR	MSE	TC
Bior 2.2	29.5966	71.91	73.9	27.3042	121.91	87.8
Bior 3.3	29.188	78.99	71.9	26.6496	141.75	85
Bior 3.7	29.7504	69.41	71	27.1316	126.86	83.9
Bior 4.4	31.9355	52.84	74.1	28.7986	172.43	88.5
Bior 5.5	31.0456	51.51	73	25.7967	172.51	88.8
Bior 6.8	31.1229	50.60	73.6	26.0916	161.18	87.3

Table 2. 2 PSNR et taux de compression pour les images compressées par des ondelettes bi-orthogonales

Le tableau 2.2 présente l'évaluation du PSNR(Peak Signal Noise Ratio) [6]et du TC de la compression des images en fonction de différents ordres d'ondelette de Daubechies.

Le PSNR(Peak Signal Noise Ratio) de la compression de l'image woman par les différentes ondelettes de Daubechies varie de 30.7.97dB à 31.7695 dB. La variation du PSNR pour les différentes ondelettes utilisées est presque uniforme. On peut expliquer ceci par le fait que l'image woman ne présente pas beaucoup de variations de l'activité spectrale.

Comme l'activité spectrale de l'image fingerprint est plus importante que celle de l'image woman, alors il est logique que pour les différentes ondelettes de Daubechies, les valeurs du PSNR (Peak Signal Noise Ratio) de l'image finguer soient inférieures à ceux de l'image woman. Le PSNR(Peak Signal Noise Ratio) de l'image fingerprint varie de 26.7570 dB à 30.6616 dB.

Table 2. 3 PSNR et TC des images compressées par des ondelettes Daubechies.

wavelet	woman			fingerprint		
	PSNR	MSE	TC %	PSNR	MSE	TC %
Db2	31.7695	54.89	72	30.6616	56.28	86.9
Db3	31.06	51.34	73.9	27.8302	108.01	87.73
Db4	31.0703	51.22	73.6	26.7570	138.29	87.7
Db5	31.0247	51.76	73.8	27.1581	126.09	86.9
Db6	30.7097	55.66	73.4	26.8965	133.91	87.4
Db7	30.9471	52.70	73	27.9275	105.61	87.1
Db10	30.8685	53.66	71.9	28.7515	87.36	86.7

Les tableaux ci-dessus représentent une comparaison de la compression des images par les ondelettes biorthogonales, et Daubechies. On peut voir que le meilleur PSNR (Peak Signal Noise Ratio) est donné par l'ondelette Bior4.4 pour l'image de woman avec un taux de compression de 74.1%. Cette ondelette Bior4.4 présente aussi le meilleur PSNR pour l'image de fingerprint avec un taux de compression de 88.5%.

Le deuxième meilleur PSNR(Peak Signal Noise Ratio) est donné par l'ondelette Bior6.8 avec un taux de compression 50.6 dans l'image de woman et 87.3% pour l'image de fingerprint.

Comme la qualité de la compression prime sur le taux de compression, sauf pour certaines applications, on peut dire qu'avec les ondelettes biorthogonales, il est préférable d'utiliser l'ondelette Bior4.4 pour la compression d'un ensemble d'images [155].

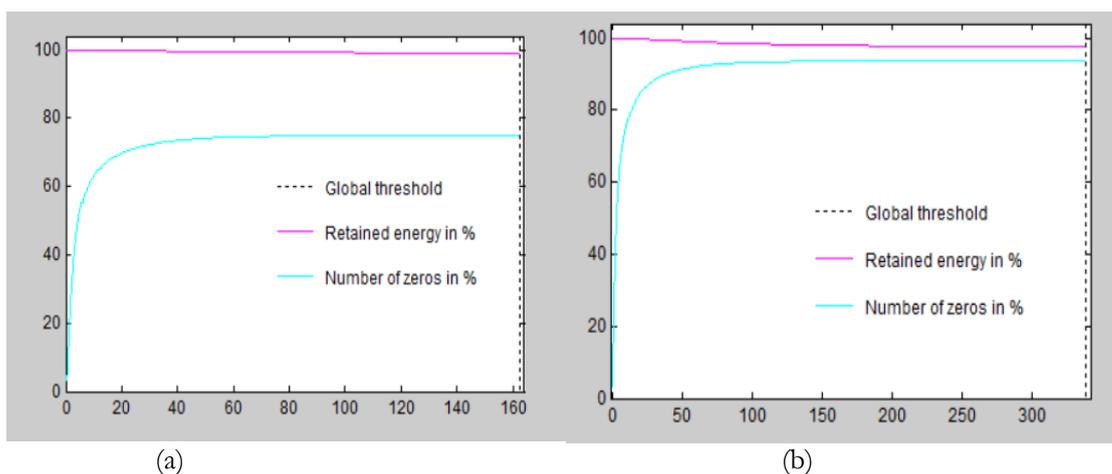
En ce qui concerne le tableau 3, il est clair que l'ondelette Daubechies2 'Db2' donne le meilleur PSNR(Peak Signal Noise Ratio) mais avec un taux de compression variant de 86.9% à 72%. . Il ressort également du tableau 3 que l'ondelette Daubechies3 'Db3' donne un PSNR de 27.83 dB avec un taux de compression de 87.73% pour l'image fingerprint, un PSNR de 31.06dB avec un taux de compression de 73.9% pour l'image woman. Dans la famille des ondelettes Daubechies, l'ondelette 'Db3' donne un très bon taux de compression.

"Figure 2.12" montre l'influence du niveau de décomposition sur le nombre de zéros et sur le pouvoir de rétention. En effet, les résultats de la figure ont une nette tendance, plus le niveau de décomposition augmente plus que le pourcentage de zéros obtenus augmente également.

De plus, la décomposition à des niveaux plus élevés signifie qu'une plus grande proportion de sous-sinaux est entrée à partir des coefficients de détail.

Il est à noter que l'énergie retenue était plus élevée aux niveaux de décomposition plus élevés, c'est parce qu'aux niveaux de décomposition plus élevés, il existe une grande proportion des coefficients dans le détail des sous-sinaux.

Selon le "Tableau 2.3", on peut déduire que l'augmentation des niveaux de décomposition est proportionnelle à l'augmentation du pourcentage de zéros, mais avec un seuil inférieur. Par conséquent, Le modèle d'augmentation de la décomposition montre plus de détails y seront perdus.



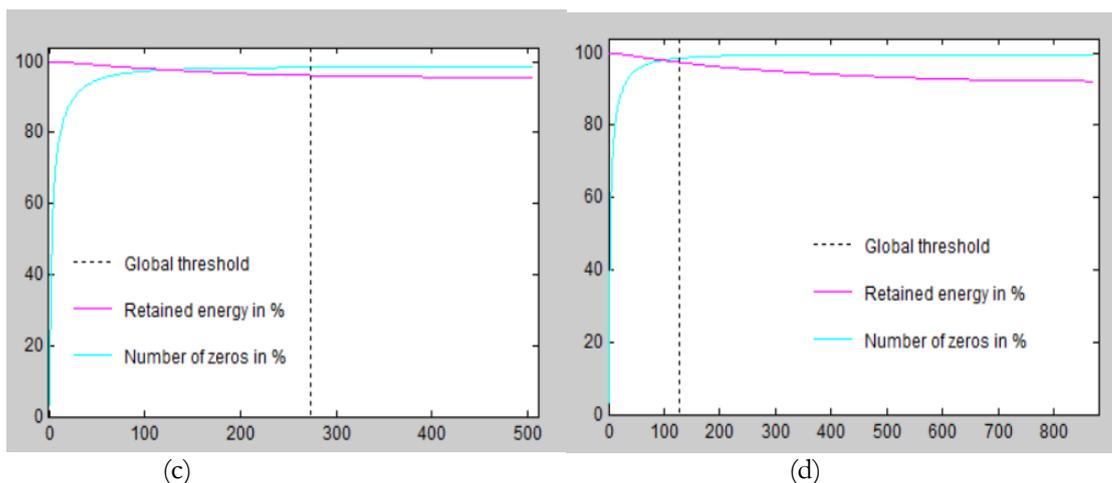


Figure 2. 12 Pourcentage d'énergie retenue et nombre de zéros utilisant différents niveaux de décomposition pour l'image " woman ".

(a) premier niveau de décomposition ; (b) deuxième niveau de décomposition ; (c) troisième niveau de décomposition ; (d) quatrième niveau de décomposition.

La figure 2.12 montre l'influence du niveau de décomposition sur le nombre des zéros ainsi que sur l'énergie retenue. En effet, les résultats de la figure ont une tendance très claire, plus que le niveau de décomposition augmente plus que le pourcentage de zéros obtenus augmente aussi. Par ailleurs la décomposition à des niveaux plus élevé signifie qu'un pourcentage plus élevé de sous-signaux proviennent de coefficients de détail.

On remarque que l'énergie retenue était plus élevée à des niveaux plus élevés de décomposition, c'est parce que à des niveaux plus élevés de décomposition, il y a une grande proportion des coefficients dans les sous-signaux de détail.

Table 2. 4 Résultats pour différents niveaux de décomposition.

Level of decomposition	Global tresholding	% retained energy	%N°de zeros
level 1	162.5	99.11	75
level 2	338.8	97.64	93.75
level 3	273.6	96.13	98.36
level 4	128.5	97.42	98.56

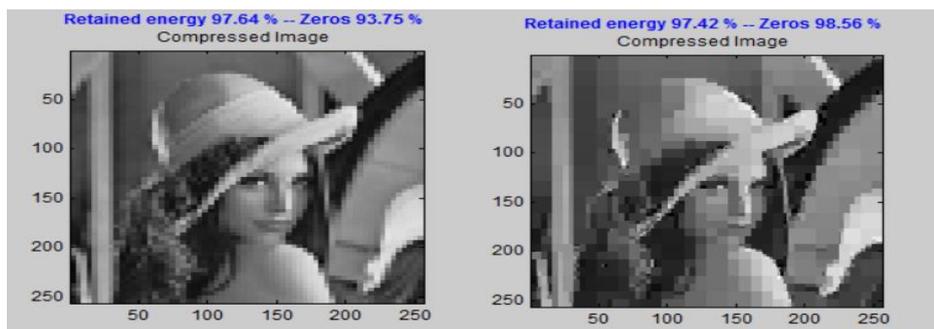


Figure 2. 13 Image compressée de 'lenna' à 2ème niveau et à 4ème niveau

D'après le tableau 2.4 on peut déduire que l'augmentation des niveaux de décomposition est proportionnelle avec l'augmentation du pourcentage de zéros mais avec un seuil moins élevé. Par conséquent, ce modèle d'augmentation de décomposition montre que plus de détails seront perdus dedans.

Selon la figure 2.13, on remarque que la qualité d'image compressée se diminue en fonction d'augmentation de niveau c'est-à-dire avoir un nombre des zéros très élevé.

Pour améliorer la qualité de la compression DWT (discrete wavelet transform), nous avons montré des résultats significatifs surtout lorsque le nombre de coefficients utilisés pour la reconstruction de l'image est très faible. Pourtant, les niveaux de décomposition plus élevés sont responsables d'une plus grande compression, mais ils affectent sur l'énergie retenue dans l'image reconstituée. Les résultats couvrent également les effets du niveau de décomposition sur la proportion des coefficients de détail dans une certaine mesure. Il a également été remarqué que les détails étaient plus importants à un niveau de décomposition plus élevé, ce qui pouvait être limité pour obtenir des taux de compression plus élevés. Néanmoins, l'acquisition de taux de compression plus élevés entraînerait la perte d'énergie, donc pour obtenir le meilleur compromis entre le taux de compression et le compactage de l'énergie nécessite un niveau de décomposition inférieur (décomposition à deux ou trois niveaux).

Toutefois, la transmission de la donnée vidéo dans les réseaux VANET constitue une application exigeante en termes de qualité de service, c'est pourquoi une évaluation de performances s'impose, c'est l'objectif de la partie suivante.

2.3 Vidéo Streaming :

2.3.1 La vidéo Streaming à travers les réseaux ad-hoc :

A présent, tout le monde parle de streaming, streaming vidéo, VOIP, vidéoconférence, etc. Ces contenus sont volumineux, et doivent être sécurisés et transmis qu'en une seule pièce comme dans les systèmes transactionnels. Ces particularités ont augmenté les besoins en matière de la bande passante pour avoir plus de débit de communication, et plus d'une bonne gestion de la transmission des paquets.

L'un des contenus les plus utilisés est la vidéo, qui se caractérise par la quantité de données qui s'augmente avec la qualité de la vidéo souhaitée. Le streaming est le processus de réception et d'affichage de l'information telle qu'elle est envoyée par un fournisseur.

Les flux diffusés et affichés sont de type multimédia (vidéo, audio) [156]. D'autres types de supports (photographies, livres électroniques, applications, etc.) n'ont pas besoin de ce type de transfert, car ils n'ont aucune contrainte de séquentialité, ils sont entièrement téléchargés avant d'être traités, réalisés ou affichés. Ce streaming peut être envoyé de deux manières différentes : unicast ou multicast [157][158]. La technologie de Multicast permet l'envoi du même flux vidéo sur le réseau et la duplication aux utilisateurs de ce réseau contrairement à

l'unicast, qui autorise séparément l'envoi du flux vidéo à chaque utilisateur [159].

Nous pouvons trouver d'autres technologies de communication vidéo utilisées, il s'agit de:

- Une vidéo pré-codée et stockée (diffusion à distance) [160].
- Une vidéo codée en temps réel (par exemple en visioconférence).

Toutefois, le streaming peut être diffusée sous la forme d'un ensemble complet de vidéos de la programmation linéaire, comme un service d'abonnement ou de pay-per-view (PPV). Il peut appartenir à un site Web interactif [161].

Parmi ces applications on peut citer :

Le streaming vidéo à la demande (VOD : Video On Demand) qui permet la diffusion des flux vidéo et audio via LANS (Local Area Network), Intranet et Internet après une demande du client [161].

La visioconférence est une application qui utilise la vidéo pour faire une réunion interactive entre des groupes distants d'individus [161].

Et pour terminer, le streaming vidéo peer-to-peer : L'un des avantages du streaming vidéo peer-to-peer[162] est que les pairs ont une connexion directe avec d'autres pairs, ce qui évite la communication via les serveurs de médiation[161].

Dans cette étude, nous nous intéressons à la qualité de service (QoS)[163] d'une vidéo streaming ciblant la diffusion et la transmission de la vidéo dans les réseaux sans infrastructure appelée "réseau mobile ad hoc".

En général, QOS est un service que vous pouvez fournir à tout type de réseau et pas seulement aux réseaux ad hoc. Par exemple, les applications multimédia exigent un débit minimal et une latence maximale. Un réseau peut prendre en charge différentes catégories de QOS :

1. Débit constant (téléphonie)
2. Débit binaire variable en temps réel (vidéoconférence)
3. Débit binaire variable en temps différé (vidéo à la demande)
4. Débit binaire disponible (transfert de fichiers).

La qualité de service en continu peut être fournie en tant que service supplémentaire par rapport à une technologie ad hoc. Par exemple, vous pouvez réduire le délai de la gigue en utilisant une sorte de mise en file d'attente ou vous pouvez également utiliser la qualité de service pour optimiser la capacité du canal, etc.

Les problèmes rencontrés sont le temps de transmission et la gigue. Il convient de noter que ces réseaux informatiques ont généralement été conçus dans un premier temps pour transmettre des flux de données plutôt statiques et de manière asynchrone. Le temps réel n'a pas été pris en compte au début du lancement de ces réseaux. Ces applications en temps réel sont aujourd'hui imposées, il est donc nécessaire de développer et d'introduire des changements dans l'architecture réseau afin de pouvoir satisfaire cette demande avec la qualité de service nécessaire.

Nous présentons également des tests à travers des simulations qui permettent de simuler les communications simultanées et les mesures nécessaires à la qualification de la qualité de service. Nous nous appuyons sur des résultats qui permettent d'évaluer la performance du temps de transmission par rapport au temps de routage ainsi que le taux d'erreur de cette transmission afin de répondre à la demande d'amélioration de la qualité du service. L'intérêt que nous accordons dans cette étude aux réseaux ad hoc est que ce type de réseau est proposé comme l'une des solutions pour répondre aux besoins actuels d'échange d'informations partout et à tout moment. Autrement dit, une solution qui permet d'offrir des canaux de communication qui devraient être disponibles et fiables de manière durable et sans infrastructure préexistante

pour certaines applications (militaires), et les réseaux Ad Hoc[164] sont construits et reconstruits de manière dynamique en termes d'exigences de débit et de disponibilité.

Mais ce n'est pas le cas des autres types de réseaux où la couverture et le débit sont limités à un périmètre réduit vers l'extérieur et dont la communication ne serait donc pas possible. En outre, la transmission de contenus multimédias - données audio et vidéo - est de plus en plus nécessaire, en particulier sur Internet et dans les réseaux mobiles. Les applications actuellement développées sont très avides de ces types de contenus et la plupart des applications grand public les manipulent tellement : Youtube, Facebook, Dailymotion, etc.

Le streaming vidéo [156][160] via le réseau sans fil pose toujours de sérieux soucis, principalement en raison de la quantité de données à transmettre. Les flux vidéo sous vidéo transmis sous IP (Internet Protocol) et avec une qualité HD (Haute Définition) nécessitent évidemment un débit maximum de 6 Mbps. Ainsi, avec un réseau WLAN (wireless local area network) utilisant le standard 802.11g, dont le débit binaire est d'environ 54 Mbps, nous pouvons garantir théoriquement 8 flux vidéo en streaming simultanément. Dans la pratique et dans la réalité de beaucoup d'autres paramètres et phénomènes interviendront évidemment et diminueront ce nombre de flux simultanés.

2.3.1.1 802.11g Norme:

Dans cet article, nous allons présenter notre travail se rapportant à la diffusion en continu sur 802.11. Notre choix se justifie par le fait que cette norme de réseau sans fil est la plus répandue et notamment la plus polyvalente dans les applications qu'elle peut avoir.

Pour diverses raisons, les liaisons sans fil constituent des goulets d'étranglement. Tout d'abord, la communication sur un canal sans fil n'est pas tout simplement capable d'atteindre la même qualité (débit, taux d'erreur, etc.), qui est assurée par son homologue filaire, ce qui diminue la qualité des contenus multimédia diffusés. Ensuite, dans un environnement mobile, l'état du canal peut changer rapidement en raison de la variation de la distance entre les stations (la mobilité des utilisateurs), du fading de Rayleigh, et de l'interférence. Si l'application multimédia doit délivrer son contenu en temps réel, elle est très sensible à la gigue dans le transfert des paquets générés par les diffusions des protocoles de transport. Troisièmement, le streaming multimédia peut se réaliser sur un support tel que 802.11g et interférer avec les autres utilisateurs qui ont l'esprit de partager les fichiers [159].

Toutefois, la norme 802.11g est la troisième norme qui utilise la bande de fréquences 2,4 GHz et peut atteindre environ 54 Mbps en débit binaire. Rappelons que le récent standard 802.11g est en plus un système MIMO (Multiple Input Multiple Output) qui peut fonctionner aussi bien dans la bande 2.4 GHz que dans la bande 5 GHz. Il peut atteindre des débits binaires d'environ 600 Mbps.

2.3.2 Le modèle de distribution du H264 AVC

La structure globale d'un flux H264 AVC[167][168] est similaire à la structure MPEG2[10][166]. Toutefois, il existe certaines différences significatives, notamment en ce qui concerne la distribution et le niveau de la structure du flux.

Le modèle de simulation utilisé pour le streaming dans H264 est basé sur le modèle développé par Kumâras, C. Skianis, G. et A. Gardikis Kourtis[169]. Ils ont utilisé le même principe que pour le modèle MPEG2. La distribution a donc adopté une distribution gamma.

$$F(x; k; \theta) = \begin{cases} x^{k-1} \frac{e^{-x}}{\theta^k \Gamma(k)} & \text{si } x > 0 \\ 0 & \text{Ailleurs} \end{cases} \quad (2.9)$$

Où:

k paramètre de forme.

θ paramètre d'échelle.

$\Gamma(k)$ la fonction Gamma.

$k \theta = M$ la valeur moyenne .

$k \theta^2 = V$ la variance.

$V/M = \theta$ facteur d'échelle.

$M^2/V = k$ Shad facteur

2.3.3 Les Problèmes fondamentaux de Streaming :

Ce modèle a essentiellement permis de définir la valeur moyenne et les variances des vidéos de différentes définitions, notamment 528x384.

Il existe un certain nombre de problèmes fondamentaux qui touchent le streaming vidéo[156]. Ces problèmes ne se posent pas exactement de la même manière que le type de réseau utilisé. Par exemple, Internet ne garantit pas une bande passante suffisante (adaptée) car il ne peut fournir aucune information sur le retard ou la perte de certains paquets. Autrement dit, ces caractéristiques sont inconnues et dynamiques. Un ensemble de problématiques liées au streaming vidéo sont présentées ci-dessous :

La bande passante disponible entre deux points de l'Internet est habituellement inconnue et variable dans le temps. En revanche, si l'émetteur émet plus vite que la largeur de la bande où se produit la congestion, les paquets sont perdus et la qualité de la vidéo diminue de façon significative.

Le délai de bout en bout peut varier d'un paquet à l'autre. Cette variation de délai d'un paquet s'appelle une gigue. Cette dernière pose un problème étant donné que le récepteur doit recevoir / décoder / afficher les images avec une vitesse constante, chaque retard d'une image, causé par la gigue, peut générer des perturbations sur la reconstruction vidéo. Un tampon est souvent utilisé pour le lecteur (récepteur) afin de diminuer l'effet de gigue.

En effet, la perte de certains paquets a souvent un effet destructeur sur la qualité de la vidéo reconstituée. Selon le type de réseau, différents types de perte de paquets peuvent se produire. Pour contrôler l'effet de perte, un système de streaming vidéo est conçu avec un dispositif de contrôle et un correcteur d'erreur. Quatre approches existent spécialement pour le contrôle et la correction d'erreur : la correction d'erreur directe (FEC), Retransmissions, Error concealment et Error-resilient video coding.

2.3.4 Résultats et analyse

Notre travail vise à améliorer la performance des réseaux Ad Hoc en utilisant la qualité de service en termes de pertes dans le cas de transmissions vidéo généralisées ainsi qu'à minimiser les délais de transmission.

2.3.4.1 Paramètres d'évaluation utilisés

Il est nécessaire, avant de présenter les résultats de la simulation, de commencer par définir la terminologie que nous utiliserons pour l'évaluation et la mesure de la QoS[163] qui est proposée par OPNET[170] :

- Délai de bout en bout des paquets.
- Variation du délai de transmission des paquets
- Trafic reçu (Paquets / sec) : la moyenne du nombre de paquets reçus par seconde par toutes les couches de transport du réseau.
- Trafic envoyé (Paquets / sec) : la moyenne du nombre de paquets, émis par seconde par toutes les applications vers les couches de transport réseau.

2.3.4.1.1 Les paramètres et attributs adoptés pour la simulation de la visioconférence

Dans nos simulations, nous étudierons plusieurs scénarios visant à simuler une vidéo en streaming via un réseau ad-hoc sans fil utilisant la norme 802.11 et en particulier la norme 802.11g en évaluant la performance d'un réseau Ad Hoc par rapport à la qualité de service dans le cas d'un service de streaming vidéo, principalement en mesurant le délai, la gigue et les pertes par paquets.

Le type de streaming vidéo simulé est une visioconférence. Par conséquent, nous devons adopter et configurer les paramètres et attributs selon les tableaux suivants (Tableau 1,2).

Dans le premier scénario, nous avons choisi un réseau ad hoc composé de dix machines couvrant une zone géographique de 1000mx1000m sans obstacles.

Ce réseau se compose d'une seule machine qui fait office d'émetteur multidiffusion et d'autres machines réceptrices sont disposées de manière à être plus éloignées de la machine émettrice. Dans cette simulation, il était intéressé à un débit binaire de 11Mbps et 54Mbps.

Table 2. 5 LES PARAMETRES ET LES ATTRIBUTS ADOPTES POUR LA SIMULATION DE VIDEO CONFERENCE

Attribute	Value
Frame Interarrival Time Information	40 frames/sec
Frame Size Information (bytes)	352X240 pixels
Symbolic Destination Name	Multicast Receiver
Type of Service	Best Effort (0)
RSVP Parameters	None
Traffic Mix (%)	All Discrete

Table 2. 6 LES PARAMETRES ET ATTRIBUTS UTILISES POUR NOTRE SIMULATION

Number of transmitting stations	1
Number of receiving stations	10
Mobility stations	With (different trajectories) and without
Application adopted	video conference type Interactive multimedia
WLAN standard used	802.11g
Coding used	Reed Solomon

Binary flow	11Mbps et 54Mbps
Plots	Square de 1000 x 1000
Type of video compression	H264
Routing protocol	AODV

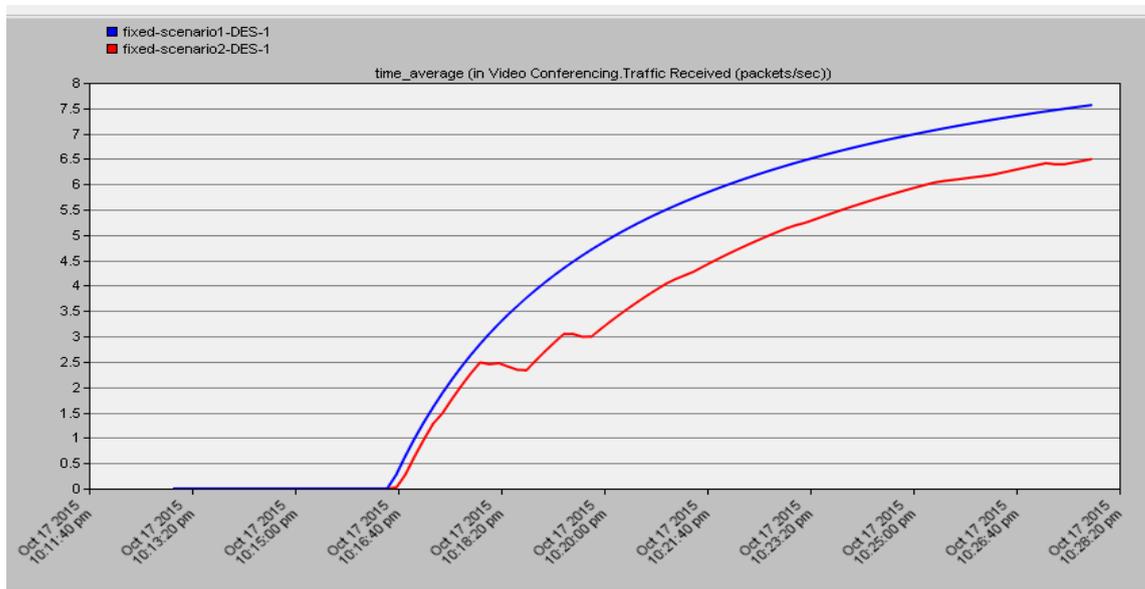


Figure 2. 14 Trafic reçu pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps

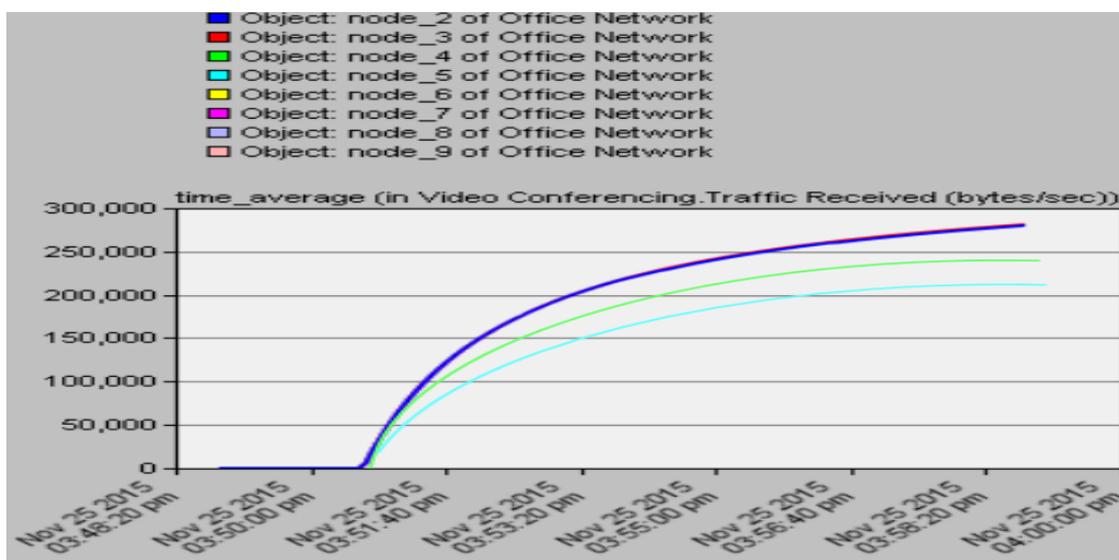


Figure 2. 15 Trafic reçu (paquets / sec) pour chaque position à 11Mbps

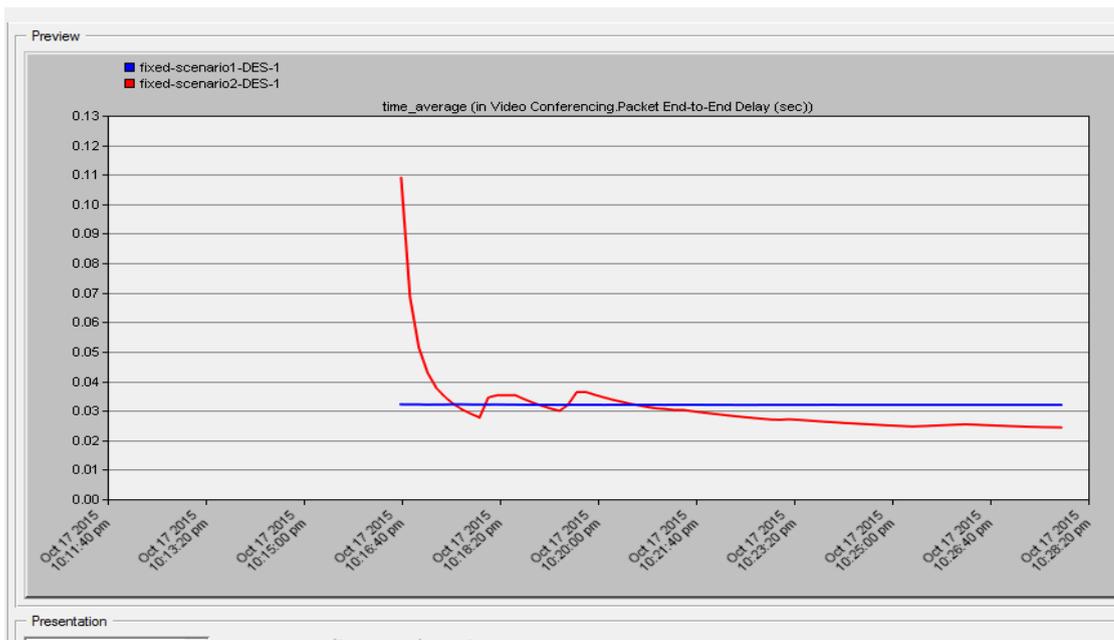


Figure 2. 16 Délai de bout en bout pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps

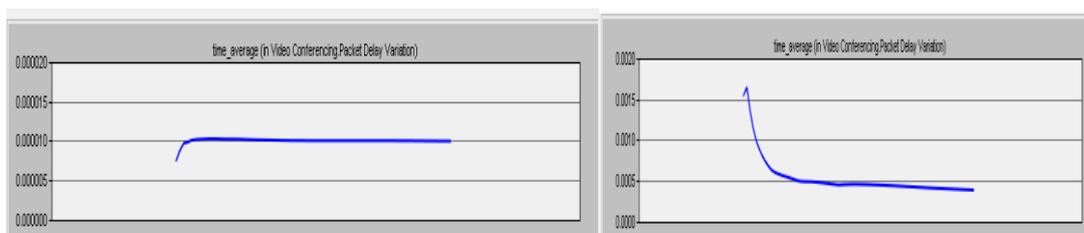


Figure 2. 17 Variation du délai de transmission des paquets pour les scénarios 11Mbps et 54 Mbps

"La figure 2.14 montre l'influence du débit élevé sur la perte de paquets. En effet, les résultats de la figure ont une tendance claire, plus le niveau de flux augmente plus que les pertes de paquets augmentent également.

Cependant "Fig. 2.15" montre ce résultat : même après le post 4, la réception est toujours possible pour le post 10 dans le cas du 11Mbps, ce qui est impossible dans le cas du 54 Mbps.

Dans les différentes simulations, les résultats montrent clairement que le haut débit augmente l'effet de perte de paquets, et par conséquent conduit à une mauvaise qualité vidéo de la vidéo reçue.

De même, la transmission de puissance ou la réception et la distance sont l'un des paramètres qui affectent la qualité du service et la création d'erreurs de transmission dans le cas d'un réseau ad-hoc de transmission vidéo.

Pour le paramètre "End to End Delay", on note qu'il est plusieurs fois plus élevé dans le cas de 11Mbps contre 54Mbps comme indiqué à la "Figure 2.17".

Quant à la "variation du délai de transmission des paquets", elle est plus prononcée à 11 Mbps et 54 Mbps (Figure 2.17).

Dans le second scénario, nous avons choisi un réseau ad hoc composé d'une seule machine émettrice qui est fixe et toutes les autres machines qui sont destinataires se déplacent avec une vitesse de déplacement de 10 mètres par seconde. Nous avons adopté trois voies différentes, de telle sorte que chaque machine a une voie différente de l'autre, afin de l'éloigner et de la

rapprocher de la machine d'envoi. Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à un débit binaire de 11Mbps.

Dans la deuxième simulation, nous pouvons garder à l'esprit que la mobilité joue un rôle crucial dans la qualité du service dans le réseau ad hoc.

De même, la mobilité est un facteur favorisant les effets des erreurs de transmission, car il est nécessaire de faire appel à des codes correcteurs d'erreurs afin de surmonter ce problème.

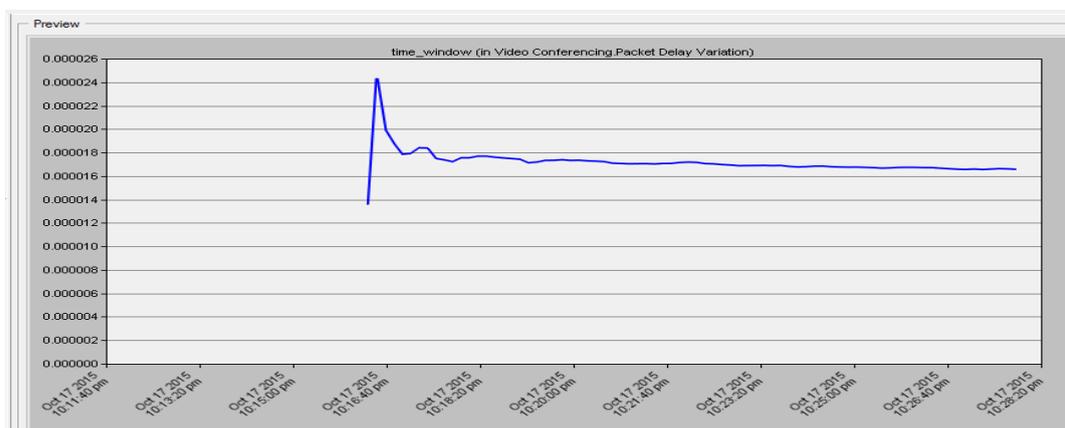


Figure 2. 18 Variation du délai

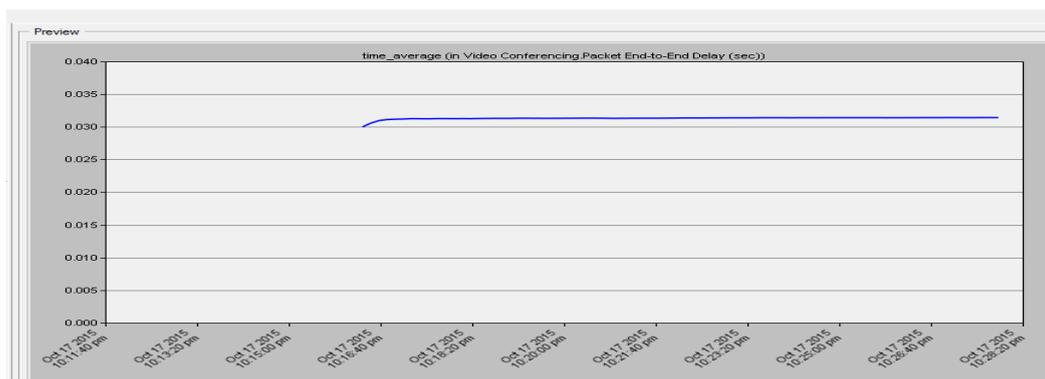


Figure 2. 19 Délai de bout en bout.

La "Fig. 2.18" montre la variance du retard des paquets pour les réseaux. Nous pouvons voir que la variation du retard pour le scénario 802.11g se stabilise autour de 0.00000017s.

D'après les résultats de la "Fig. 2.19", on peut voir que le délai peut aller jusqu'à 3 secondes à des débits vidéo de 11Mbps.

Par conséquent, dans le réseau sans fil 802.11g, on peut conclure que l'ensemble de la tendance de retard quand il dépend de la mobilité.

Les résultats de la simulation montrent clairement que la qualité de transmission du réseau dépend de plusieurs facteurs aussi importants les uns que les autres, tels que :

- La taille du réseau
- Débit binaire
- Mobilité

Cependant, les tentatives pour augmenter le taux de transmission sont perdues en termes de qualité. Par conséquent, l'intégration de QOS accompagnée d'une correction d'erreur appropriée doit nous donner de bien meilleurs résultats. Cela dit, si le réseau n'est pas surchargé, moins congestionné, nous devons également obtenir de meilleurs résultats. Néanmoins, moins chargé dans le cas du streaming vidéo, cela signifie aussi que les techniques

de compression utilisées doivent assurer un taux de compression significativement plus élevé.

2.4 CONCLUSION

La compression d'images fait l'objet de nombreuses études centrées sur l'amélioration des algorithmes de compression ainsi que sur le développement de nouvelles techniques et formats de compression.

Dans ce chapitre, nous avons étudié les normes de compression JPEG (Joint Photographic Experts Group) et spécifiquement JPEG2000 (Joint Photographic Experts Group2000) ou la compression par ondelettes.

L'utilisation des ondelettes permet aux nombreuses applications un niveau de la compression d'images. Plusieurs familles d'ondelettes sont utilisées actuellement, et elles offrent de meilleurs résultats de compression, où on peut supprimer des détails en négligeant des valeurs inférieures à un certain seuil. Cela n'altérera pas la reconnaissance des composantes de l'image.

Le choix de l'ondelette dépend de l'application. Dans certains cas, l'ondelette la plus simple (Haar), qui a un calcul rapide et facile, sera la plus optimale. Pour d'autres applications, c'est le pire choix possible.

L'affichage de l'image peut se faire de manière progressive. Cela peut être intéressant sur des supports de transmission à faible débit.

Dans notre travail, nous pouvons conclure qu'en se basant sur nos images de test, nous sommes arrivés à montrer que les ondelette Bior4.4(Bi-orthogonales) donne un bon compromis entre le PSNR (Peak Signal Noise Ratio) et le taux de compression dans la famille des ondelettes biorthogonales. Ainsi les ondelette Db2(Daubechies 2) donne un bon PSNR(Peak Signal Noise Ratio), alors que l'ondelette Db3 donne un bon taux de compression dans la famille des ondelettes Daubechies.

Nous avons prouvé aussi que la plupart d'énergie des coefficients est stockée dans les coefficients d'approximation, ce qui permet d'atteindre à des taux de compression élevée.

Cependant, l'utilisation des liaisons sans fil pour la diffusion vidéo en continu sur Internet devient de plus en plus courante aujourd'hui.

Cette combinaison réduit l'exigence d'applications multimédia à la nature très imparfaite et aux liaisons radio capricieuses. C'est pourquoi un gros effort est nécessaire pour atteindre ces deux mondes, tels que le retard, la gigue et la perte, afin que les exigences des applications multimédia puissent être satisfaites par l'instabilité et le manque de fiabilité des liaisons radio.

Dans ce chapitre, nous avons étudié aussi de nombreux scénarios et cas multiples d'un réseau sans fil en évaluant les performances d'un réseau Ad-hoc en termes de qualité de service, ce qui sera fait dans un cas de streaming vidéo en mesurant le délai, la gigue et la perte de paquets. Nous nous concentrerons particulièrement sur les réseaux sans fil ad hoc utilisant la norme 802.11g. Les réseaux sans fil étudiés seront formés par des stations fixes et/ou mobiles.

Dans ces travaux, nous avons évalué la qualité de service dans le cas d'un flux vidéo encodé par la norme de compression H264. Le parcours standard a plusieurs caractéristiques distinctives et assure un certain débit avec une certaine qualité. Des études expérimentales et théoriques ont montré que les données de trafic et de flux correspondant au format IP-vidéo suivent certaines distributions que nous avons considérées dans les modèles adoptés.

Cependant, il faut tenir compte des modèles de données de trafic de ces codecs. Pour assurer une performance maximale, en minimisant le nombre de paquets perdus, la correction d'erreur FEC (ForwardError Correction), la transformation Mojette, le code Raptor et/ou Reed Solomon seront ajoutés au flux multimédia et ce qui est généralement appelé canal de codage. Les travaux futurs consisteront à mettre en œuvre une méthode adaptative pour développer la qualité de service (QoS) afin d'assurer une communication en temps réel, robuste et efficace.

ChAPiTrE

Contribution à l'amélioration de la qualité de service sur le réseau Ad-hoc véhiculaire

Sommaire

3.1	Introduction -----	76
3.2	Interconnexions et graphiques -----	77
3.2.1	Les règles de composition des contraintes : -----	78
3.3	La qualité du service-----	79
3.3.1	Problématique :-----	80
3.4	Approches proposées et résultats -----	81
3.4.1	Méthode utilisée :-----	81
3.4.1.1	Description d'algorithme 1:-----	82
3.4.1.2	Description d'algorithme 2:-----	85
3.4.1.3	Méthode d'Amélioration de la qualité de service:-----	87
3.4.1.3.1	Description :-----	87
3.5	Illustration de l'approche et résultats -----	90
3.6	Développement d'un algorithme pour le contrôle de la diffusion des paquets -----	92
3.6.1	Analyse d'approches pour la construction de systèmes de sécurité :-----	93
3.6.2	Techniques d'amélioration de la résilience du réseau VANET-----	95
3.6.2.1	Classification des méthodes de contrôle de la congestion pour le trafic de radiodiffusion -----	96
3.6.3	Distance de l'information -----	97
3.6.3.1	Limitation de la distance d'information -----	97
3.6.4	Estimation du nombre de relais -----	99
3.6.4.1	Algorithme de contrôle du niveau de retard -----	100
3.6.4.2	Choix du délai-----	101
3.6.5	Algorithme proposé -----	101
3.6.5.1	Limite de durée de vie et contrôle des doublons-----	101
3.6.6	Simulation et paramètres -----	102
3.6.6.1	Résultats expérimentaux -----	104
3.7	Conclusions-----	106

3.1 Introduction

Au cours des dernières décennies, les véhicules sont devenus de plus en plus importants dans notre vie quotidienne. La circulation automobile est devenue un phénomène quotidien dans certaines villes en raison des embouteillages. Un plus grave problème est celui de la sécurité, les statistiques de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) montrent qu'il y a en moyenne 1,2 million de morts et entre 20 et 50 millions de blessés graves causés par les accidents de la route. Pour surmonter les problèmes de sécurité et de circulation routière, de nombreuses initiatives ont été prises par les gouvernements, les associations et les constructeurs automobiles. Parmi ces initiatives, mentionnons les campagnes de sensibilisation, l'introduction d'un code de la route strict et l'amélioration du transport en commun.

Cependant, une façon intuitive et simple de concevoir des réseaux ad hoc est de considérer qu'ils correspondent à la généralisation ultime des réseaux sans fil car ils limitent au maximum le rôle de l'infrastructure fixe. Cette généralisation est obtenue en améliorant les capacités de connectivité du réseau sans fil[171]. La gamme limitée de terminaux nécessite la présence d'un protocole de routage pour établir la communication entre deux entités distantes. Plusieurs protocoles de routage ont été proposés dans le groupe VANET. Ils permettent de trouver les chemins les plus courts en termes de nombre de sauts.

Les contraintes de routage dépendent à la fois de la mobilité des réseaux et du type d'information à router. En effet, certains réseaux sont plus mobiles que d'autres, et nous savons combien les déconnexions sont coûteuses. La nature des informations dépend des applications que nous essayons d'exécuter. Ceux-ci sont plus ou moins sensibles à la latence dans les communications.

Le type de service le plus difficile à prendre en charge est celui des applications de streaming vidéo, qui consiste à envoyer un flux de données d'un serveur au client [172]. Le volume de données est très important et le flux de données envoyé ne supporte pas d'être interrompu. Néanmoins, la contrainte de flux renvoie à la notion de qualité de service[173][174]. On sait, par exemple, que les différentes normes IEEE 802.11 ne peuvent assurer la qualité de service en raison de la mise en œuvre probabiliste de la couche physique [175]. De plus, les Scatternets permettraient d'envisager ce service en multi-hop. En ce qui concerne le Wi-Fi, malgré les problèmes de qualité de service, plusieurs propositions sont faites en abordant le problème de différentes manières. Dans [176], les auteurs proposent un mécanisme d'adaptation du débit en fonction du taux de perte des informations perçues. Ils effectuent une simulation pour vérifier leurs hypothèses. Le routage et la mobilité ne sont pas traités dans cette proposition. Dans [177], les auteurs proposent un algorithme de routage pour un réseau ad hoc de véhicules. Des simulations sont effectuées et l'algorithme est comparé avec AODV (proto-col de routage dédié aux VANET). Enfin, dans [178], les auteurs évaluent trois approches pour évaluer la QoE (Qualité d'Expérience) dans l'application du streaming vidéo sur les réseaux sans fil.

En résumé, les applications de streaming audio et vidéo sont difficiles à adapter aux contraintes des réseaux sans fil ad hoc et d'autant plus que les stations sont mobiles.

La transmission de paquets vidéo doit tenir compte des principaux paramètres qui caractérisent les réseaux ad hoc, à savoir le débit, la perte de paquets, le délai de bout en bout et la gigue. Ces dernières années, plusieurs techniques ont été utilisées par les applications multimédia pour surmonter les variations de ces facteurs et minimiser leurs effets sur la qualité de la vidéo perçue par le récepteur. Il s'agit de : Transcodage[179][180], SVC(Sclable Video Coding)[181][182], MDC (Multiple Description Cod-ing)[183], ARQ (Automatic Repeat Request)[184], UEP (Unequal Error Protection)[185] et Errors concealment[186].

Les principaux objectifs des réseaux de véhicules sont de diffuser les informations relatives à la circulation routière et toutes autres informations [187][188] La nature des informations relatives à la circulation routière est limitée à une zone géographique spécifique telle que les informations d'accès.

Dans [189] l'auteur a proposé un nouveau mécanisme de routage permettant la transmission optimale d'un message. Ainsi, les applications utilisables dans ces réseaux collectent des informations dans des réseaux de capteurs, ce qui peut entraîner des délais de connexion importants [190].

Les problèmes du chemin le plus court [191][192] entre deux sommets de graphiques pondérés sont bien connus depuis longtemps, et des algorithmes polynomiaux sont disponibles pour différents types de graphiques : Dijkstra dans le cas de poids positifs, Bellman dans le cas général[193][194].

En raison des collisions et de la topologie du réseau, le défilé peut choisir différents relais pour chaque paquet nouvellement généré, et n'importe quel nœud de relais peut choisir ses nœuds suivants en fonction de l'état actuel de son voisinage.

Dans ce chapitre, nous abordons ces questions en nous intéressant au réseau de véhicules correspondant aux exigences modernes et plus spécifiquement à l'optimisation des itinéraires à travers différents critères de qualité de service, en utilisant des méthodes adaptées issues de la recherche opérationnelle.

A cet effet, nous proposons des solutions efficaces pour surmonter ce problème. Tout d'abord, nous proposons des techniques d'optimisation pour planifier une infrastructure de réseau de véhicules efficace et efficiente. En second lieu, notre proposition consiste à élaborer et mettre en place des mécanismes de gestion adaptative pour améliorer la qualité de service (QoS) et assurer des communications en temps réel, robustes et efficaces.

Le reste du présent chapitre est organisé comme suit : Dans la section 3.3, nous présentons une conception stratégique de nos algorithmes pour le routage multi-contraint. Ensuite, notre propre proposition de qualité de service sera discutée à la section 3.4.1.3. La section 3.4 traite de nos expérimentations et des résultats obtenus. Le chapitre est conclu à la section 3.6.

3.2 Interconnexions et graphiques

Nous schématisons l'interconnexion du réseau par un graphique simple, dont les arêtes sont les liens, et les nœuds sont les équipements. Les liens sont assignés à une ou plusieurs fonctions de poids positif. Ces pondérations peuvent représenter la distance entre les nœuds, le délai de transmission des données sur la liaison, le débit, le coût, etc[195].

Nous supposons que le réseau est connecté. Cependant, de façon transitoire, les composants du réseau peuvent être temporairement isolés en raison de la mobilité, de la panne, etc.

En effet, nous supposons que les valeurs des poids sur les deux arcs entre les deux équipements du réseau sont susceptibles d'être différentes ;

Les poids des bords sont utilisés par les algorithmes de calcul de la table de routage pour définir la meilleure voie entre deux nœuds du graphe. Nous considérons que chaque fonction de poids est distribuée de manière homogène sur le graphique et que les valeurs sont positives en \mathbb{R}^+ .

Nous rappelons ici quelques les notions de la théorie des graphes qui nous permettent de décrire au plus près les caractéristiques d'un graphe topologique [196][197].

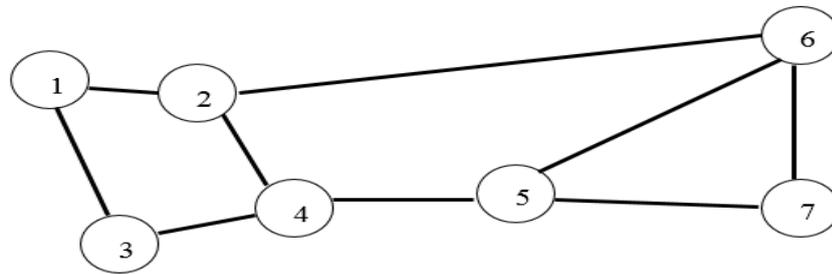


Figure3. 1 Représentation du graphe G

Soit $G = (V;E; \Omega)$ le graphe topologique pondéré, où V est l'ensemble des nœuds, E est l'ensemble des arcs et Ω est l'ensemble des fonctions de poids associées à chaque arc. Le graphe topologique pondéré est défini par :

$$\forall f \in \Omega: V \times V \rightarrow \mathbb{R}^+$$

$$\forall u \in V, \forall v \in V, \text{ si } (u, v) \in E: f(u, v) \text{ finite} \quad (3.1)$$

Nous étendons l'ensemble des fonctions de poids, définies sur E , à n'importe quelle paire de nœuds du graphique :

$$\forall u \in V, \forall f \in \Omega: f(u, u) = 0$$

$$\forall (u, v) \notin E, \forall f \in \Omega: u \neq v \Leftrightarrow f(u, v) = \infty \quad (3.2)$$

Nous dénotons le voisinage de la distance k du nœud u dans un graphe G :

$$\Gamma_k(u) = \{v \in G: \text{dist}(u, v) = k\} \quad (3.3)$$

Où $\langle \text{dist} \rangle$ la fonction du nombre de sauts entre deux noeuds.

3.2.1 Les règles de composition des contraintes :

Soit $(G;V;E;)$ le graphe topologique pondéré avec $|V|=n$ noeuds et $|E|=m$ arcs. Á Chaque arc $(v_i; v_j) \in E$ est associée une ou plusieurs métriques (fonctions de poids). Soit $f(v_i; v_j)$ l'une de ces métriques. La valeur de f sur un chemin $p = (v_0; v_1; \dots; v_k)$ peut suivre une des règles de compositions suivantes :

– Métrique additive : une métrique f est additive si

$$f(p) = \sum_{i=1}^k f(v_{i-1}, v_i) \quad (3.4)$$

Il est clair que le délai (Del), la gigue (Gig), le nombre de sauts (Hop), le coût (C), etc, sont des métriques additives.

– Métrique multiplicative : une métrique f est multiplicative si

$$f(p) = \prod_{i=1}^k f(v_{i-1}, v_i) \quad (3.5)$$

3.3 La qualité du service

Pour une bonne qualité de service, aucun conducteur n'a l'avantage d'attendre dans le véhicule lorsqu'il s'arrête avant de quitter le véhicule. La Qualité de Service (QoS) étant un point important dans tous les réseaux, il semble intéressant d'étudier les moyens d'introduire cette notion dans les réseaux ad hoc (VANET) où les nœuds sont en mouvement [198].

Le but d'un calcul de la table de routage est de déterminer le trajet (c'est-à-dire un ensemble de liens à parcourir), pour établir une connexion entre un nœud source et un nœud destination. Ce calcul est inclus dans le protocole de routage, ce qui permet la diffusion des informations nécessaires à ce calcul.

En fait, la QoS qui peut être offerte à la connexion est directement liée au choix du chemin. Les différentes contraintes imposées par le raccordement (débit, retard, taux de perte, etc.) doivent être prises en compte dans le calcul de l'itinéraire. Ces paramètres peuvent varier en fonction des liens empruntés. Il est donc nécessaire d'implémenter un algorithme de routage dont la fonction est de trouver le meilleur chemin possible entre la source et le destinataire afin de satisfaire les différents critères de qualité imposés. Le calcul doit également diviser les ressources du réseau de la manière la plus homogène possible. En outre, le calcul de l'itinéraire doit être aussi simple que possible afin d'éviter des complications en termes de temps d'exécution.

Un algorithme de calcul d'itinéraire avec QoS consiste à trouver un chemin entre une source et une destination qui satisfait aux exigences de QoS (bande passante, délai, etc.) tout en utilisant efficacement les ressources du réseau (coût, répartition de charge, etc.).

Les algorithmes du chemin le plus court proposés dans ce chapitre visent à assurer la qualité de la gestion des services dans les réseaux dynamiques sans aucune entité centrale. Ainsi, les tables de routage doivent être adaptatives (dynamiques) et réparties entre les nœuds du réseau. Les calculs se font sur un graphique topologique, qui représente l'état du réseau.

Les critères de qualité de service : Dans cette section, nous proposons d'extraire avec précision un certain nombre d'indicateurs de QoS pour un réseau de véhicules. Le terme de qualité de service est utilisé dans un sens très large qui englobe les intersections de tous les acteurs du système : passagers, conducteurs, transporteurs, autorités locales.

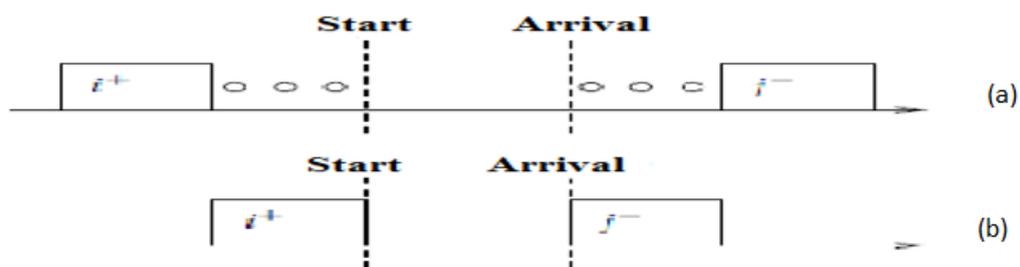


Figure3. 2 Temps d'attente absurde

La figure 3.2 montre qu'il ne devrait pas y avoir de temps d'attente ; Autrement dit, quelle que soit la fonction objective de l'optimisation, les solutions présentant ce type de temps d'attente auront toujours une qualité de service trop faible pour les passagers.

Le diagramme(a) représente une situation avec des temps d'attente absurdes représentés par des ellipses et le diagramme ci-dessous(b) montre la situation correspondante sans ces temps d'attente.

Ce cas indique que les suppressions des attentes se font par un retard et / ou un avancement. Cela reflète seulement le fait que les gens n'attendent pas l'arrêt juste après avoir monté ou juste avant de descendre, quelle que soit la date d'achèvement du service souhaitée.

- La durée

Elle est identique au calcul de la distance parcourue, la seule différence étant d'ajouter les durées de service et les temps d'attente aux arrêtes. Les seuls itinéraires minimaux en termes de durée sont suffisants pour obtenir une solution optimale.

Dans le cas où une contrainte est imposée sur la distance totale parcourue, il devient alors pertinent de considérer les traceurs alternatifs comme le critère de la distance parcourue.

- La sensibilité aux perturbations

Les perturbations dans un réseau sont du type modification du réseau, modification de l'ensemble des requêtes à servir, retard d'un véhicule. La sensibilité du système à ces perturbations peut être mesurée de différentes manières : par la capacité de trouver une nouvelle solution acceptable dans un délai raisonnable, ou par la différence entre l'ancienne et la nouvelle solution.

La qualité de service est alors associée aux notions de robustesse, de méthode de calcul des tournées comme de celle des solutions.

La distribution spatio-temporelle des véhicules est un critère pour réduire la sensibilité du système à l'arrivée de nouvelles demandes. Si à tout moment, tous les véhicules sont distribués rationnellement face à la distribution de l'apparition de nouvelles demandes sur le territoire, le système pourra recevoir de nouvelles requêtes.

3.3.1 Problématique :

Comme nous l'avons déjà vu, l'architecture d'un réseau véhiculaire ad hoc est caractérisée par l'absence d'une infrastructure fixe préexistante, contrairement aux réseaux de télécommunications classiques. Un réseau ad hoc automobile doit être organisé automatiquement, afin d'être rapidement déployé et adapté aux différents mouvements, au trafic, et aux conditions de propagation qui peuvent survenir au sein des unités mobiles [199].

Le problème pour un réseau est de déterminer le chemin optimal des données (messages, images, etc.) dans le sens d'un certain critère de performance.

Ces problèmes dans les réseaux véhiculaires [200] sont liés à leur caractère imprévisible. Les algorithmes proposés doivent tenir compte de certaines contraintes :

- L'absence d'une infrastructure qui empêche un contrôle centralisé et qui impose une résolution distribuée ;

- La dynamique du réseau et la perte rapide de validité des voies qui imposent des mécanismes de mise à jour appropriés [201], c'est-à-dire que les voies construites doivent respecter les contraintes des VANET.

En effet, le chemin le plus court en nombre de sauts est probablement le plus rapide en temps

de transmission, et celui qui utilise le moins de nœuds est le plus efficace sur le plan énergétique.

Cependant, les problèmes de latence doivent également être pris en compte lors de la connexion et de la reconnexion. Sans oublier la problématique des inondations de broadcast des trames lors de la transmission de la donnée. En effet la donnée transmise entre deux nœuds différents est reçue plusieurs fois, alors qu'il est avantageux d'être reçue une seule fois. [202].

D'où la nécessité d'avoir un seul chemin ou d'une façon de trouver un sous graphe qui passe par tous les nœuds.

3.4 Approches proposées et résultats

La mise en œuvre de la modélisation d'un système pourrait se baser sur des objets connus et maîtrisés, qui sont les graphes avec son cortège. En effet, il existe une analogie simple entre les réseaux et les graphes. Les entités d'un système sont associées aux nœuds d'un graphe et les interactions entre entités sont associées aux arêtes.

Il est souhaitable d'envoyer des paquets sur un réseau véhiculaire entre des nœuds d'entrée et des nœuds de sortie reliés entre eux par un réseau ad hoc chargé de répartir les paquets sur le réseau. Le réseau peut être représenté par un graphe $G = (M, N)$ dont M est un ensemble de sommets et N est l'ensemble des arrêtes de sorte que chaque arc est identifié par une paire ordonnée de sommets (u, v) .

$$\begin{aligned} [a,b] &= \{a, a+1, a+2, \dots, b-1, b\} \\ G &= \{U_i / i \in 1, \dots, N\} \end{aligned} \quad (3.6)$$

N : nombre d'arrête de tout le graphe

$$A = \{U_{ij} / j \in [1, M - 1]\} \quad (3.7)$$

M : nombre de sommet

$$d(A) = \sum_{j=1}^{n-1} d(U_{ij}) \quad (3.8)$$

$d(A)$: La distance globale

Il faut trouver

$$A^* = d(A^*) = \min d(A) \quad (3.9)$$

3.4.1 Méthode utilisée :

Notre travail se déroulera en trois étapes :

Dans un premier temps, nous allons configurer les nœuds selon notre protocole (algorithme 1).

Et comme résultat nous aurons une table de routage de chaque nœud de graphe.

Dans l'étape suivante (Algorithme 2), nous calculerons le plus court chemin pour transmettre les données lorsqu'une trame est reçue, en prenant une décision quant au nœud vers lequel les informations seront transmises.

Finalement, et c'est la partie la plus importante de notre travail, celle de l'amélioration de la

qualité de service (Algorithme 3).

3.4.1.1 Description d'algorithme 1:

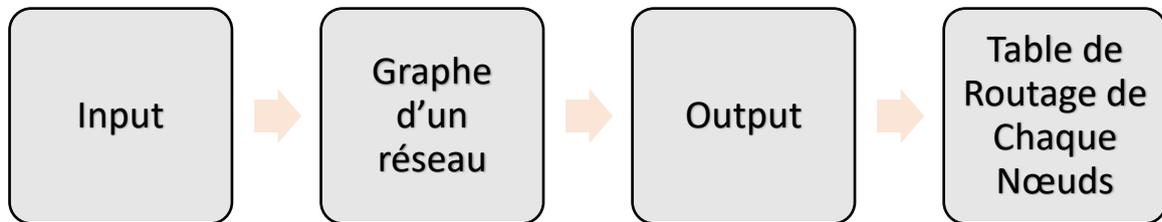


Figure3. 3 Présentation schématique de l'algorithme1

Dans l'algorithme 1 (Fig.3.3), nous supposons qu'il existe deux types de trames :

- Trames d'informations
- Trames qui informent l'apparition d'un nouveau nœud ou bien changement de table de routage.

Au début, la table de routage est vide

Chaque nœud (x) a deux cas :

1. S'il reçoit une trame de la part d'un autre nœud y :
 - La Réception de la table de routage du nœud (y).
 - La Vérification, si cette table comporte de nouvelles informations.
 - La Mise à jour de sa propre table de routage et renvoie à tous les nœuds connectés directement avec lui sa nouvelle table de routage.
2. Détection d'un nouveau nœud (z) qui n'appartient pas à sa table de routage :
 - Ajout d'une nouvelle case associée à ce nouveau nœud (z).
 - Il envoie sa propre table au nouveau nœud (z) et il lui demande de lui renvoyer sa table de routage.
 - La mise à jour après la réception de la nouvelle table.
 - Envoie de la nouvelle table aux autres nœuds

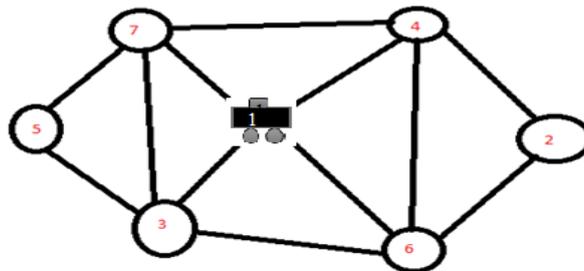


Figure3. 4 Modélisation du réseau VANET

Ensuite, en appliquant l'approche basée sur l'algorithme 1 et en utilisant la matrice d'adjacence (Tableau 3.1) sur le graphique (Fig.3.4), la matrice de routage (Tableau 3.2) a été construite.

Table3. 1 Matrice d'adjacence

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1	1	0	1	1
2	0	0	0	1	0	1	0
3	1	0	0	0	1	1	1
4	1	1	0	0	0	1	1
5	0	0	1	0	0	0	1
6	1	1	1	1	0	0	0
7	1	0	1	1	1	0	0

Table3. 2 Matrice de routage

	1	2	3	4	5	6	7
1	1	4	3	4	3	6	7
2	4	2	4	4	4	6	4
3	1	1	3	1	5	6	7
4	1	2	1	4	1	6	7
5	3	3	3	3	5	3	7
6	1	2	3	4	1	6	1
7	1	1	3	4	5	1	7

Algorithme 1 :

```

G a connected graph of n vertices
Let M be its adjacent matrix (of size n x n)
M (i, j) = 1 if there is a stop between i and j
M (i, j) = 0 otherwise
Let A be the routing matrix (of size n x n)
A (i, i) = i
A (i, j) = k if i # j and there exists a path from i to j passing
through k and there is a between i and k
Input: M
Output: A
Function f: ---> Routing table update.
Input : i,j

h = 0
For k=1 to n do

```

```
    If k#i and k#j and A(i,k)=0 et A(j,k)#0
        A(i,k) = j
        h = h + 1
    End If
End For

if h#0
    For k=1 to n do
    if k#i et k#j and A(i,k)#0
        f(A(i,k),i)
    End If
    End For
End If
End Function
Debut
    For i=1 to n do
        For j=1 to n do
            A(i,j) = 0
        End For
    End For
    For i=1 to n do
        A(i,i) = i
    For j=1 to i-1 do
        If M(i,j)=1
    IF A(i,j)#0
        A(i,j) = j
        A(j,i) = i
    Else
        A(i,j) = j
    A(j,i) = i
    f(i,j)
        f(j,i)
    End If
    End If
    End For
    End For
End

Return A
```

3.4.1.2 Description d'algorithme 2:

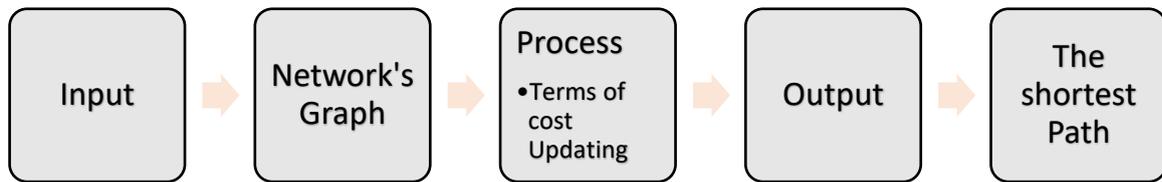


Figure3. 5 Schéma du principe de l'algorithme 2.

En appliquant l'algorithme 2 tel qu'illustré à la figure 3.5 sur le graphe d'entrée (figure 3.6) et en utilisant la matrice d'adjacence (tableau 3.3), les trajectoires optimales sont établies à partir d'une matrice de routage (tableau 3.4).

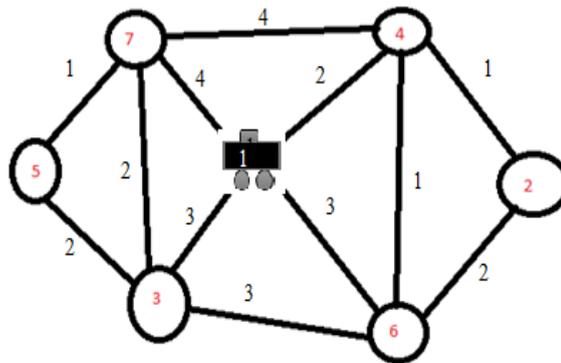


Figure3. 6 Connectivité graphique dans les VANET.

Table3. 3 Matrice d'adjacence pour l'algorithme 2.

	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
<i>1</i>	-1	-1	3	2	-1	3	4
<i>2</i>	-1	-1	-1	1	-1	2	-1
<i>3</i>	3	-1	-1	-1	2	3	2
<i>4</i>	2	1	-1	-1	-1	1	4
<i>5</i>	-1	-1	2	-1	-1	-1	1
<i>6</i>	3	2	3	1	-1	-1	-1
<i>7</i>	4	-1	2	4	1	-1	-1

Table3. 4 Matrice de routage pour algorithme 2

	1	2	3	4	5	6	7
1	(1,0)	(4,3)	(3,3)	(4,2)	(3,5)	(4,3)	(7,4)
2	(4,3)	(2,0)	(6,5)	(4,1)	(4,6)	(6,2)	(4,5)
3	(1,3)	(6,5)	(3,0)	(6,4)	(5,2)	(6,3)	(7,2)
4	(1,2)	(2,1)	(6,4)	(4,0)	(7,5)	(6,1)	(7,4)
5	(3,5)	(7,6)	(3,2)	(7,5)	(5,0)	(3,5)	(7,1)
6	(1,3)	(2,2)	(3,3)	(4,1)	(3,5)	(6,0)	(3,5)
7	(1,4)	(4,5)	(3,2)	(4,4)	(5,1)	(3,5)	(7,0)

Algorithme 2

G a connected graph of n vertices
 Let M be its adjacent matrix (of size n x n) (with the cost of each edge)
 M (i, j) # -1 if there is a stop between i and j M (i, j) represents the cost of the edge between i and j
 M (i, j) = -1 otherwise
 Let A be the routing matrix (size of n x n x 2)
 A(i,i,1) = i
 A(i,i,2) = 0
 A (i, j, 1) = k if i # j and there exists an optimal cost path from i to j passing through k and there is an edge between i and k
 A (i, j, 2) ---> Represents the cost of the optimal path from i to j

Input: M
 Output: A

Function f: ---> Routing table update

Input: I, j
 --> Routing table update of vertex I, from vertex routing table j
 h = 0
 For k=1 to n do
 If (A(j,k,1) #-1)
 If ((A(i,k,1)=-1) or (A(j,k,2)+M(j,i)<A(i,k,2)))
 A(i,k,1) = j
 A(i,k,2) = A(j,k,2) + M(j,i)
 h = h + 1
 End If
 End If
 End For

```
If h#0
  For k=1 to max(i,j) do
    If ((k#i) and (k#j) et (M(i,k)#-1))
      f(k,i)
    End If
  End For
End If
End Function

Debut
For i=1 to n do
  For j=1 to n do
    A(i,j,1) = -1
    A(i,j,2) = -1
  End For
End For

For i=1 to n do
  A(i,i,1) = i
  A(i,i,2) = 0
  For j=1 to i-1 do
    If M(i,j)#-1
      If ((A(i,j,1)=-1) or (M(i,j)<A(i,j,2)))
        f(i,j)
        f(j,i)
      End If
    End If
  End For
End For
End
Return A
```

3.4.1.3 Méthode d'Amélioration de la qualité de service:

3.4.1.3.1 Description :

Le schéma suivant (Fig.3.7) comporte les éléments suivants :

- Tout d'abord, chaque nœud est spécifié par une mémoire interne limitée et une file d'attente.
- En outre, chaque trame est spécifiée par un temps d'attente. De plus, chaque trame est caractérisée par un index qui représente le nombre de collisions.

- Dans le cas initial, nous attribuons un temps initial d'attente qui est égal à : temps max égale au temps maximal d'attente.
- Cependant, en transmettant plusieurs trames en même temps et à la même destination, nous risquons d'avoir une collision. Pour chaque collision, nous considérons deux catégories de trames correspondant aux trames importantes et aux trames habituelles.
- Le premier type de collision se produit lorsque des trames importantes tombent en collision avec d'autres trames habituelles, ce qui permet la transmission de la trame importante et la pénalisation des autres.
- Le second type est celui où plusieurs trames importantes ou habituelles se heurtent l'une à l'autre, les deux seront pénalisées.
- Néanmoins, chaque utilisateur dans une collision a un nombre aléatoire, qui représente le nombre de cycles à attendre pour effectuer sa communication. Ce nombre aléatoire augmente proportionnellement au nombre de collisions. Dans le cas où le nombre de collisions dépasse le seuil, les trames seront abandonnées.
- Sinon, chaque trame a sa propre fenêtre de contention CW qui sera initialisée à 1 lorsqu'un nouveau nœud entre.
- Si la trame tombe en collision, on multiplie la CW par deux. Et, nous choisissons le numéro du cycle

$$x_{cycle} \in [0, 2CW_{max}] \quad (3.10)$$

- Si cette trame est importante, elle attendra x cycle avant la transmission suivante, et si elle est habituelle, elle attendra le x cycle + A, tel que A est une constante qui sera fixé au début, afin de favoriser les trames importantes par rapport aux autres trames usuelles.

3.5 Illustration de l'approche et résultats

Notre travail vise à améliorer la performance des réseaux Ad Hoc en utilisant la qualité de service en termes de pertes dans le cas de transmissions vidéo généralisées ainsi qu'à minimiser les délais de transmission.

La performance de la qualité de service a été mesurée par rapport à des paramètres tels que le taux de perte de paquets et le temps de séjour moyen dans deux scénarios différents : nombre de paquets par nœud et nombre de nœud.

Cependant, les différents scénarios ont été réalisés avec Eclipse.

Dans les scénarios, le nombre de paquets par nœud et le nombre de nœuds connectés dans un réseau sont variés, ce qui permet d'obtenir les graphiques de comparaison des algorithmes 1, 2 et 3. Nous nommons le temps de séjour moyen T_m , l'intervalle de temps aléatoire entre son entrée et sa sortie du système. Le temps de séjour moyen T_m est obtenu en analysant ce qui se passe pour une trame donnée.

Le taux de perte de paquets est un ratio très important pour mesurer la performance du protocole de routage. Le taux de perte de paquets peut être obtenu en divisant le nombre total de paquets qui n'ont jamais atteint la destination par le nombre total de paquets de données envoyés par les sources. Mathématiquement, il peut être représenté par l'équation (3.11).

$$\text{Packet Loss Ratio} = (\text{nbr Sent Packet} - \text{nbr Received Packet}) / \text{nbr Sent Packet} \quad (3.11)$$

* 100

Où :

Nbr SentPackets = Number of sent packets.

Nbr ReceivedPackets = Number of received packets.

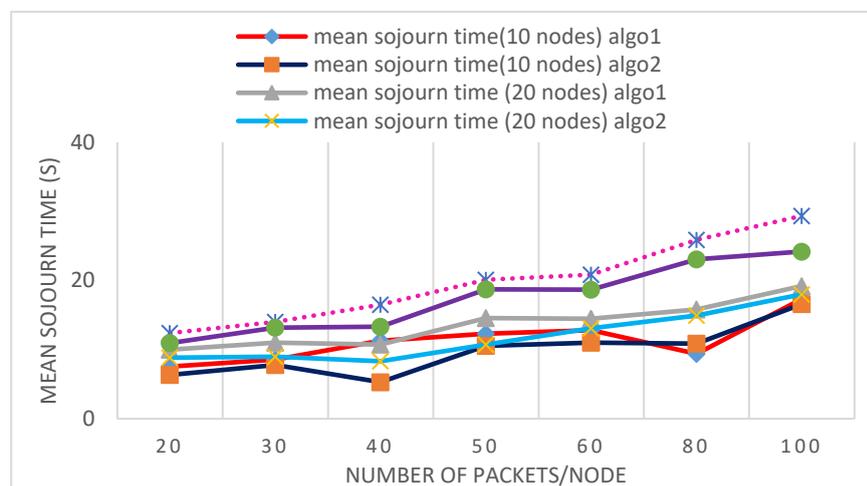


Figure3. 8 Temps de séjour moyen par rapport au nombre de paquets par nœud pour différents nœuds

Les résultats sont relativement constants en termes de temps de séjour moyen, avec une légère augmentation modérée pour le nombre de paquets et le nombre de nœuds (Fig.3.8).

Malgré l'augmentation du nombre de nœuds qui deviennent plus stationnaires, l'algorithme 2 offre des performances satisfaisantes dans toutes les situations, garantissant ainsi une meilleure stabilité du trajet entre la source et la destination.

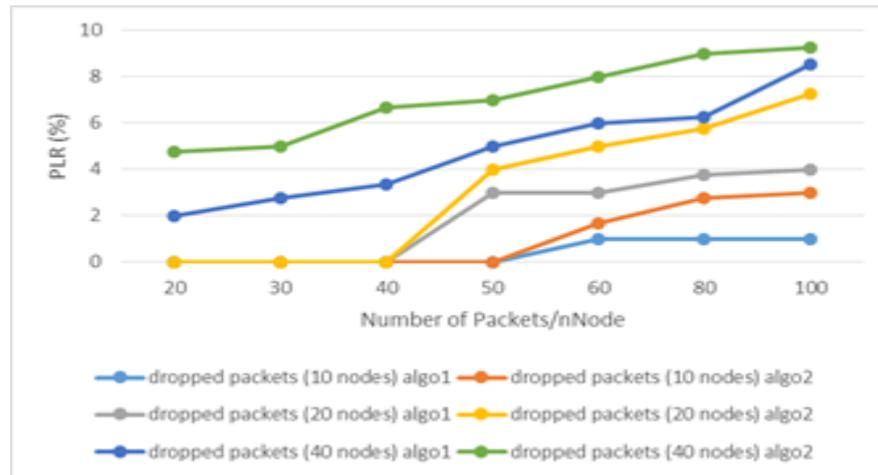


Figure3. 9 Taux de perte de paquets pour l'algorithme 1 et l'algorithme 2

Le taux de perte de paquets par rapport au nombre de paquets par nœud est illustré dans la figure 3.9 Avec l'augmentation du nombre de nœuds, l'algorithme 2 est le moins performant, il reste identique pour tous les moins nombreux, mais avec l'augmentation du nombre de nœuds, l'algorithme 2 indique la perte maximale de paquets.

En examinant le nombre de paquets perdus du point de vue de la taille d'un réseau, nous constatons à la Figure 3.9 que la différence de performance augmente avec le nombre total de nœuds du réseau.

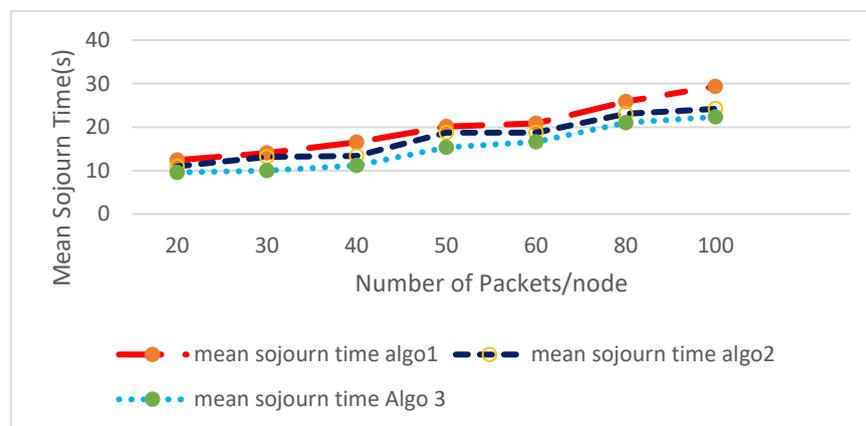


Figure3. 10 TEMPS DE SÉJOUR MOYEN POUR DIFFÉRENTS ALGORITHMES

La figure 3.10 montre le temps de séjour moyen par rapport au nombre de paquets/nœud pour différents algorithmes.

En particulier, la performance de l'algorithme 2 reste constante pour un nombre croissant de paquets, alors que sa performance est meilleure que celle de l'algorithme 1.

On peut également observer que les performances de l'algorithme 3 surpassent celles de l'algorithme 1 et de l'algorithme 2 dans toutes les conditions.

Maintenant, nous supposons que nous savons comment diviser l'information entre les trames habituelles et les trames urgentes en utilisant les informations des nœuds. Dans ce cas, la qualité de service s'impose sur la durée du séjour.

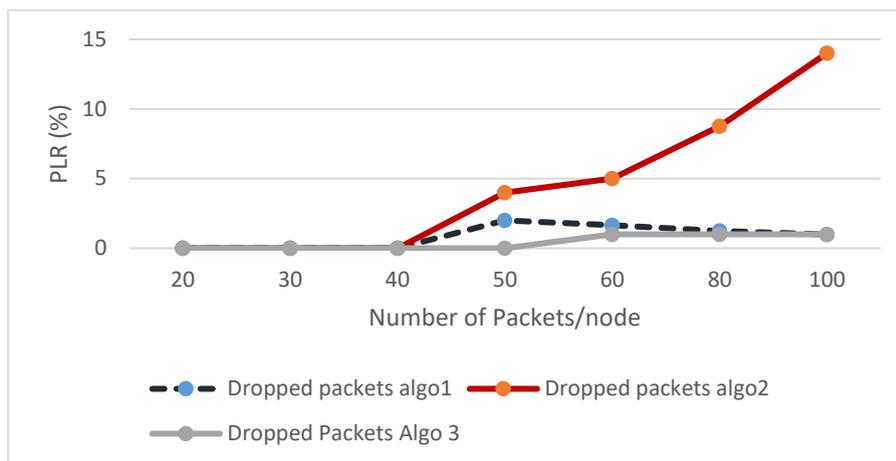


Figure3. 11 Taux de perte de paquets pour différents algorithmes

En se basant sur la figure 3.11, il est démontré qu'Algorithme 3 est encore meilleur que les deux algorithmes (algorithme 1 et algorithme 2) dans toutes les conditions.

En outre, il reste le même pour tous les moins nombreux paquets, mais avec l'augmentation du nombre de paquets, l'algorithme 2 indique la perte maximale de paquets.

Il est également observé que l'algorithme 2 est encore meilleur que l'algorithme 1, mais inférieur à l'algorithme 3 dans le taux de perte de paquets.

Par conséquent, on peut conclure que ces graphiques se sont révélés très utiles pour l'analyse statistique de ces performances de qualité de service.

3.6 Développement d'un algorithme pour le contrôle de la diffusion des paquets

La fonction principale de Vehicular Ad Hoc Network (VANET) est de prévenir les incidents de la circulation routière, en s'appuyant sur un échange rapide et fiable de messages entre véhicules. Cependant, la dynamique des VANET, souvent accompagnée d'une forte concentration des véhicules dans les zones urbaines, impose plusieurs restrictions à l'utilisation des solutions de mise en réseau standard utilisées dans des situations statiques ou à faible mouvement.

L'utilisation d'unités routières (RSU : RoadSide-Units) et d'une infrastructure fixe améliore la livraison des messages et réduit l'utilisation de la bande passante en diminuant le besoin de retransmissions multi-sauts ; à la réception d'un message d'urgence, l'infrastructure basée sur RSU peut endosser partiellement la fonction de (i) diffuser des alertes et (ii) afficher des messages d'avertissement sur des panneaux d'information dédiés. En raison d'un budget limité, les RSU sont souvent trop peu nombreux pour couvrir l'ensemble du réseau routier.

Ainsi, VANET apparaît comme une alternative rentable au RSU. En effet, les tendances récentes dans l'industrie automobile consistent à équiper les véhicules d'un système de sécurité compatible VANET, appelé unités embarquées (OBU : On-Board Units).

Compte tenu du renouvellement rapide du parc de véhicules dans les pays en développement, davantage d'efforts ont été menés pour améliorer la diffusion des messages en fonction de leur priorité.

A cet égard, certaines solutions réduisent la probabilité de collisions lors de la propagation du message sur le réseau, en adaptant la force du signal [204, 205, 206,207,208] ou en exploitant les antennes directionnelles [202, 203]. Néanmoins, la réduction de la puissance du signal réduit la connectivité/accessibilité du réseau [209,210,211,212 et 213]. Les antennes directionnelles fonctionnent mal si l'antenne est mal alignée lors d'un accident. Les algorithmes proposés contrôlent la transmission des messages [204, 215 et 216] en fonction des conditions environnementales (présence d'évanouissements et de propagation par trajets multiples provoqués par la re-réflexion des signaux des obstacles).

Dans cette partie, nous proposons une nouvelle stratégie de diffusion qui donne la priorité aux messages urgents liés à un accident. Nous évaluons d'abord la distance que doit parcourir un message pour alerter les véhicules à proximité et éviter un accident (Section 3.6.2). En fonction de cette distance, nous priorisons les messages d'avertissement. De plus, nous proposons une stratégie qui évite la saturation du canal de transmission, en privilégiant la communication longue distance au détriment de nombreuses transmissions à courte distance (3.6.3) afin d'accélérer la diffusion des messages diffusés (Section 3.6.4).

3.6.1 Analyse d'approches pour la construction de systèmes de sécurité :

Des approches novatrices visant à améliorer la sécurité du trafic routier sur la base de l'échange d'informations entre les nœuds du réseau nécessitent la création de systèmes spécialisés. L'un des problèmes les plus importants qui se posent lors de la conception et du déploiement de tels systèmes à grande échelle est de trouver un équilibre entre des indicateurs tels que la simplicité de l'organisation, l'efficacité opérationnelle et la rentabilité économique.

La simplicité de l'organisation inclut la possibilité d'implémenter une nouvelle solution dans l'infrastructure technique existante. L'objectif poursuivi est de créer une information homogène et entièrement accessible.

Cela implique d'équiper tous les CT avec des moyens de télécommunication et d'interaction. Cependant, compte tenu des réalités actuelles, l'installation massive d'équipements supplémentaires sur le véhicule, avec le déploiement simultané d'infrastructures fixes, constitue une tâche très difficile à concevoir. L'évaluation de l'efficacité du fonctionnement du système, comme pour la majorité des systèmes basés sur des structures de réseau, se fait sur deux indicateurs : la tolérance aux pannes et l'efficacité en général. Ces deux indicateurs dépendent de nombreux facteurs d'influence et ne diffèrent que par le degré de performance du système et de sa fonctionnalité de base.

Ces deux indicateurs dépendent de nombreux facteurs d'influence et ne diffèrent que par la mesure dans laquelle le système exécute ses fonctionnalités de base. Il est possible d'améliorer l'efficacité des opérations grâce à diverses solutions architecturales et techniques.

La fonction principale des réseaux VANET est de prévenir les incidents de circulation routière qui répond à la nécessité d'un échange rapide et fiable de messages contenant des informations sur l'état des nœuds du réseau. Toutefois, les caractéristiques de ce type de réseaux, telles que la haute densité et la grande vitesse de déplacement des nœuds, imposent un certain nombre de restrictions à l'utilisation des solutions standard utilisées dans les réseaux auto-organisés fixes ou à faible mouvement. Dans le processus d'analyse des approches en matière de construction de systèmes de sécurité, il est nécessaire de tenir compte du fait que l'infrastructure du réseau est étroitement liée à la topologie des chaussées. Cette fonctionnalité permet d'appliquer des décisions techniques supplémentaires lors de la construction du système et doit être prise en considération lors de l'étude de ses caractéristiques.

L'utilisation de RSU et d'une infrastructure fixe élimine le besoin de retransmission de messages en plusieurs étapes, ce qui réduit considérablement le trafic total du réseau. En outre, après l'acceptation unique d'un message concernant une situation éventuelle sur la route, des éléments de l'infrastructure

fixe peuvent pleinement assumer la fonction de diffusion ultérieure des informations d'alerte. Dans ce cas, les alertes de danger de tous les nœuds situés à proximité peuvent être implémentées soit en envoyant des messages appropriés à partir du RSU, soit en affichant des messages d'avertissement sur des panneaux d'information. En cas de blocage complet du passage, le système de commande fixe peut modifier les circuits de signalisation des feux de signalisation, assurant ainsi un détournement de la section de la route bloquée. Un exemple de système mettant en œuvre cette fonctionnalité est présenté à la figure 3.12.

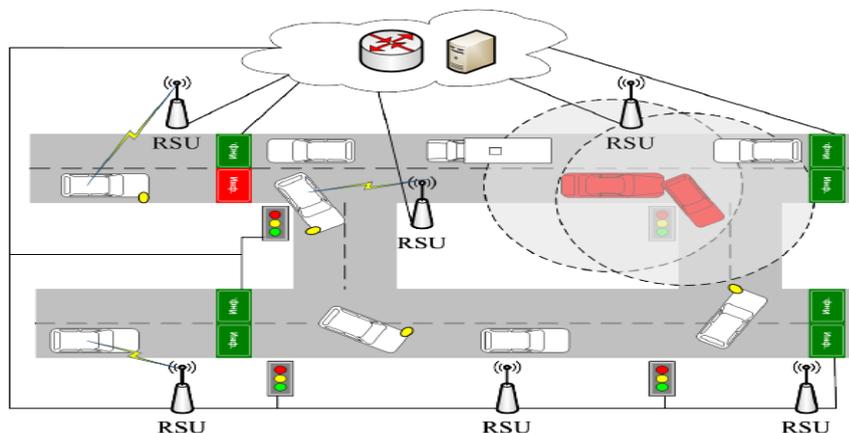


Figure3. 12 Système de sécurité routière utilisant une infrastructure fixe

Cette approche est très efficace et fonctionnelle, mais elle présente d'énormes inconvénients en termes de rapidité et de coût de déploiement du système. Les inconvénients susmentionnés peuvent être éliminés en utilisant une structure de réseau auto-organisée de pair à pair créée exclusivement à partir de l'OBV. Parallèlement, un certain nombre de solutions techniques ou algorithmiques permettent de réduire la probabilité de collisions dans le processus de distribution des messages sur le réseau.

Ainsi, l'une des approches décrites dans [109, 110] est l'utilisation d'antennes directives. Cela permet de modifier la forme de la zone d'audibilité du signal de la route comme montré sur la figure 3.13. À cause de la réduction de la zone d'audibilité du signal, les interférences des nœuds se déplaçant le long des routes parallèles ainsi que dans des directions opposées sont diminuées. La probabilité de collisions dans le processus de transmission des messages est considérablement réduite.

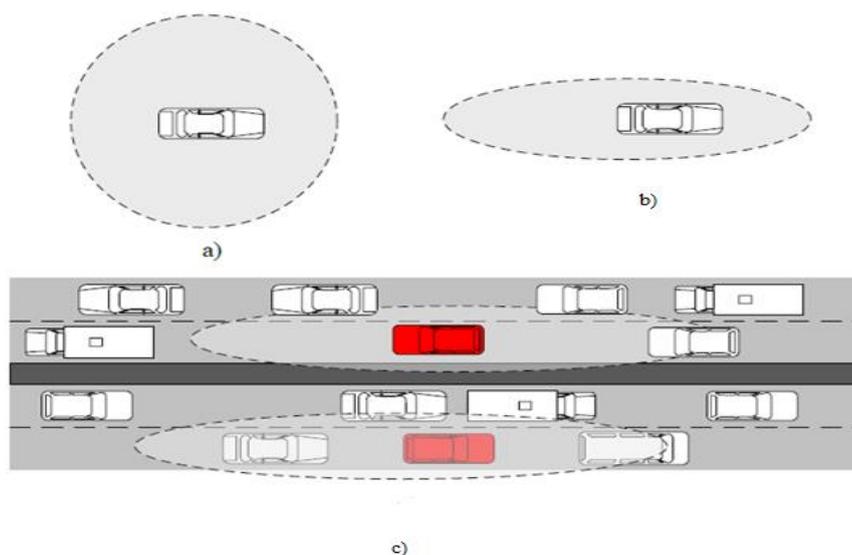


Figure3. 13 Utilisation d'antennes directives sur un OBU

L'orientation restreinte de cette approche est à la fois un atout et un inconvénient sensible. En cas d'accident, le véhicule peut changer de position par rapport à la route. Par conséquent, les messages provenant des systèmes embarqués des participants directs à l'accident risquent de ne pas atteindre les autres usagers de la route, ce qui réduit considérablement la fonctionnalité du système de sécurité dans son ensemble.

Une autre façon de réduire les interférences négatives des nœuds, illustrées à la figure 3.14, consiste à contrôler la puissance du signal de la partie émettrice [45, 66, 88, 61, 94, 68]. Avec cette réduction, l'audibilité du signal est réduite, ce qui entraîne une diminution du nombre de nœuds en concurrence entre eux pour accéder au support de transmission. Cependant, au sein du réseau maillé dans son ensemble, cette approche a également des conséquences négatives. L'abaissement de la zone d'audibilité entraîne une augmentation de l'effet de clustering du réseau [65, 78, 106, 85, 50].

Il n'est pas possible de transmettre des messages de sécurité entre des zones isolées. Cette approche réduit également l'efficacité du système de sécurité.

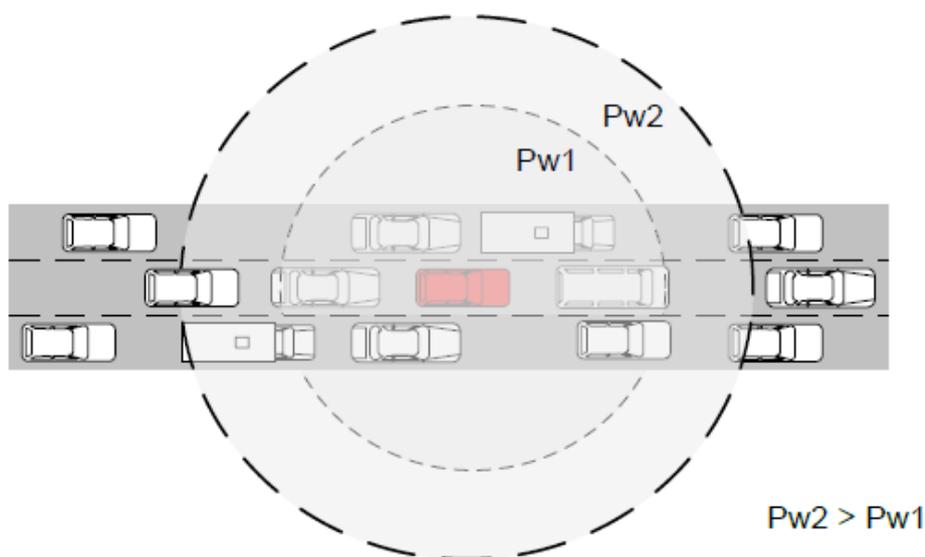


Figure3. 14 Contrôle de la puissance de l'émetteur OBU

L'approche utilisant des algorithmes spécialisés pour contrôler le processus de retransmission des messages permet de modifier dynamiquement les paramètres ou le mode de fonctionnement des nœuds du réseau auto-organisateur [79, 103, 76]. En même temps, la création d'une infrastructure stationnaire coûteuse n'est pas nécessaire. La décision de modifier les paramètres des émetteurs ou de retransmettre les messages est prise par chaque nœud indépendamment, en fonction des informations qu'il recueille sur l'environnement.

Toutes les approches considérées visent à créer un environnement unifié d'échange d'informations. Cependant, les plus prometteurs d'un point de vue économique, ainsi que d'un point de vue de la simplicité de mise en œuvre, sont les systèmes construits sur le principe du réseau maillé peer-to-peer. Les tendances modernes du développement de l'industrie automobile où les modules d'interaction sans fil sont établis directement chez les constructeurs-usines, soutiennent directement ce scénario de l'organisation des systèmes de sécurité dans les STI.

3.6.2 Techniques d'amélioration de la résilience du réseau VANET

La résilience du réseau dépend de la quantité de rejets de messages dus, par ex. bruit, interférences, réverbération ou collisions. En particulier, la probabilité d'échec de la délivrance du message, que l'on note p_{fail} , correspond à la probabilité cumulée d'échec lors de la délivrance du message (p_{acc}) et lors de l'accès au canal (p_{col}). Ainsi, la probabilité de succès du processus de transmission, notée p_{tr} vérifie:

$$P_{tr} = (1 - p_{fail}) = (1 - (p_{col} + p_{acc})) \quad (3.12)$$

À son tour, la probabilité de succès de la transmission dépend du nombre de nœuds N dans la portée de communication et de la fréquence des messages générés F_{br} . La notation suivante reflète la dépendance :

$$P_{tr} \rightarrow \max_{Ua} |N, f_{br} \quad (3.13)$$

La probabilité de succès peut être augmentée en diminuant le volume du trafic relayé, en concevant un algorithme de relais efficace ou en diminuant la couverture des messages (time to live). De plus, il est nécessaire de hiérarchiser les messages critiques.

3.6.2.1 Classification des méthodes de contrôle de la congestion pour le trafic de radiodiffusion

Comme tout réseau utilisant la technologie d'accès concurrente CSMA/CA, VANET est extrêmement sensible au nombre d'utilisateurs et au volume de trafic transporté. La norme IEEE 802.11p donne la priorité à certains messages, en utilisant le canal dit CCH. Dans cet article, nous analysons les méthodes de priorisation du trafic sur le canal principal. Il existe deux situations dans lesquelles un nœud est incapable de transmettre un message. Dans le premier cas, le nœud, qui tente d'accéder au support de transmission, détecte que le canal est occupé. Une temporisation est alors déclenchée, suivie d'une nouvelle tentative d'accès. Dans le second cas, plusieurs nœuds tentent simultanément de transférer des données, ce qui conduit à une collision suivie d'une nouvelle tentative. Afin d'éviter une telle surcharge/collision, les approches suivantes ont été proposées :

Diffusion basée sur des informations environnementales - L'idée de base est d'ajuster le transfert de messages, basé sur une connaissance des nœuds voisins. Des informations sur les nœuds voisins sont ajoutées à l'en-tête du paquet et le paquet est diffusé sur un ou deux sauts, ce qui entraîne une surcharge excessive.

Diffusion basée sur le regroupement de réseaux - Cette approche est largement utilisée avec MANET. Le clustering réseau est le processus de division des nœuds en clusters. La maintenance des clusters se fait de deux manières :

- Basé sur le contrôle des messages diffusés périodiquement sur le réseau.

- En écoutant le trafic de données. Les algorithmes basés sur ce principe incluent On Demand Multicast Routing Protocol (ODMPR), Mobility-Centric Data Dissemination Algorithm for Vehicular Networks (MDDV), Dynamic Backbone-Assisted MAC (DBA-MAC) [117].

Envoi basé sur des informations sur les paramètres de trafic - Les protocoles fonctionnent sur la base de certaines informations relatives aux nœuds voisins, à leur sens de déplacement et à leur vitesse. Habituellement, la congestion du réseau est limitée en limitant la transmission à un petit nombre de sauts (typiquement un ou deux sauts) et en fusionnant les paquets pendant leur transmission. La fusion est effectuée lorsque les paquets entrants, par exemple, suivent la même

direction de déplacement. Les protocoles incluent la diffusion probabiliste adaptative optimisée (OAPB), la diffusion probabiliste adaptative optimisée et la diffusion déterministe (OAPB/DB), la diffusion automatique, la diffusion véhiculaire distribuée (DV-CAST), la diffusion fiable dépendante de la densité dans les réseaux ad hoc véhiculaires (DECA) [117, 217, 218].

Diffusion basée sur les informations de localisation - Les méthodes de diffusion basées sur la localisation reposent sur les informations des systèmes de navigation par satellite tels que le GPS ou le GLONASS. La source du message indique dans le message la zone géographique dans laquelle le message doit être diffusé. A la réception d'un message, un nœud retransmet le message entrant vers la zone souhaitée. Notez que de telles approches ne fonctionnent pas bien en l'absence de positionnement (tunnels). Les protocoles de géolocalisation incluent Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast (AMB), Distributed Robust Geocast (DRG), Edge Aware Epidemic Protocol (EAEP), Position Aware Reliable Broadcast Protocol (POCA), Smart Broadcast (SB), Urban Multi-Hop Diffusion (UMB) [215, 117, 217].

Diffusion tenant compte de la distance - La décision de retransmettre ou non le message est pris en fonction de la distance avec la source du message. Les nœuds, à la plus grande distance, retransmettent rapidement le message entrant tandis que d'autres retardent leurs retransmissions. En conséquence, un petit nombre de retransmissions est nécessaire pour couvrir une grande zone. Ces protocoles incluent : la retransmission directe (CTR), MobySpace, la diffusion optimisée de messages d'alarme (ODAM), la diffusion rapide (FB), la transmission de données assistée par véhicule (VADD) [117, 217].

Diffusion probabiliste - les protocoles s'appuient sur des fonctions probabilistes pour contrôler le délai de transmission ; la même probabilité de transmission est appliquée à tout le trafic ou est paramétrée en fonction du contenu du message, du nombre de voisins, du nombre de doublons reçus jusqu'à présent, etc. Ces protocoles incluent par ex. Diffusion adaptative basée sur la position (PAB), routage d'alarme d'estimation de réception (REAR) [219, 220].

3.6.3 Distance de l'information

L'objectif principal de notre système d'urgence est d'informer les usagers de la route qui se trouvent à proximité des accidents. À cette fin, il est nécessaire de déduire la distance que le message d'avertissement doit parcourir et de définir en conséquence un TTL approprié pour les messages d'avertissement/de modification. De même, la fréquence de diffusion des messages d'information sur la sécurité doit être paramétrée. Ces paramètres doivent être suffisants pour permettre à un véhicule circulant à grande vitesse d'éviter un accident.

3.6.3.1 Limitation de la distance d'information

On suppose que l'emplacement de chaque nœud est déterminé par les coordonnées fournies par le système GPS. Considérons un accident (voir Figure 3.15) dans lequel le véhicule V1 entre en collision avec un obstacle et s'arrête brusquement, c'est-à-dire $v_1 = 0$. Afin d'éviter un autre accident, le deuxième véhicule V2, qui se déplace à une vitesse de v_2 , devrait avoir suffisamment de temps pour s'arrêter.



Figure3. 15 Distance de notification

En supposant que le conducteur de V2 est correctement averti du danger, la distance que le véhicule V2 a le temps de parcourir dépend (i) de la vitesse de conduite v_2 , (ii) du temps de réaction t_r du conducteur et (iii) de la distance de freinage, qui dépend à son tour de l'accélération/décélération a_2 du véhicule. En tenant compte des paramètres ci-dessus, on peut en déduire le temps moyen t_{stop} pendant lequel le conducteur doit être averti et la distance D_{stop} que parcourra le véhicule à partir du moment de l'avertissement :

$$\overline{t_{stop}} = t_r + t_{br} \quad (3.14)$$

$$\overline{D_{stop}} = v_2 t_r + S_{br} \quad (3.15)$$

Où t_{br} est le temps de freinage, S_{br} est la distance parcourue par la voiture en t_{br} , t_r est le temps de réaction du conducteur. Pour déterminer les valeurs de t_{br} et S_{br} , on suppose que le freinage du véhicule V2 s'effectue avec une accélération constante a_2 , puis on utilise les équations de décélération uniformes suivantes :

$$S_{br} = S_0 + v_0 t_{br} - \frac{a t_{br}^2}{2} \quad (3.16)$$

$$v = v_0 - a t_{br} \quad (3.17)$$

Où v_0 est la vitesse du véhicule V2, au moment de la réception du rapport d'avertissement. En remplaçant ces valeurs dans les équations (3.17) et (3.18), le temps de freinage et la distance de freinage sont :

$$t_{br} = \frac{v_0}{a} \quad (3.18)$$

$$S_{br} = v_0 t_{br} - \frac{a t_{br}^2}{2} \quad (3.19)$$

Global :

$$\overline{t_{stop}} = t_r + \frac{v_0}{a} \quad (3.20)$$

$$\overline{D_{stop}} = v_2 t_r + v_0 t_{br} - \frac{a t_{br}^2}{2} \quad (3.21)$$

Compte tenu de la norme ISO 611:2003 [221], relative au freinage du véhicule, le temps de réaction du conducteur varie de 0,4 à 1,6 secondes, selon par ex. ses caractéristiques psycho-physiologiques, son état, son vécu. L'accélération à régime de ralenti uniforme dépend fortement de la qualité du

système de freinage et de la surface de la route [21]. Ainsi, toujours selon ISO611:2003(en) [221], sur sol sec et freins à tambour, elle est de 6 m/s^2 . Pour une route d'hiver, cette valeur est réduite jusqu'à 6 fois. Par conséquent, en tenant compte du scénario le plus défavorable, nous supposons que $a = 1 \text{ m/s}^2$. Globalement, on obtient $\overline{t_{stop}} = 22.2 \text{ s}$, $\overline{D_{stop}} = 282 \text{ M}$ pour un véhicule roulant à 80 km/h . Comme le véhicule V2 doit s'arrêter longtemps à l'avance, la distance minimale d'information doit être $D_{inf}^{min} > \overline{D_{stop}}$.

3.6.4 Estimation du nombre de relais

Afin de s'assurer que le message d'avertissement parcourt la distance requise, il convient de considérer qu'un réglage trop faible de la valeur TTL entraînera une perte prématurée de paquets, c'est-à-dire avant qu'ils n'atteignent la distance d'information requise.

$$TTL > t_{inf}^{max} \geq t_{inf}^{min} \quad (3.22)$$

Avec
$$\overline{t_{stop}} = t_r + \frac{v_0}{a}$$

- t_{inf}^{max} = Le temps d'arrivée du message de freinage au nœud concerné.
- $t_{inf}^{min} = \overline{t_{stop}}$

Ainsi, pour éviter de saturer le canal, le TTL doit être minimisé au maximum, tout en le gardant supérieur à t_{inf}^{max} .

De plus, pour éviter de diffuser lorsque le nœud est trop éloigné de l'accident, le TTL doit être le plus petit possible.

$$D_{inf}^{max} \geq D_{inf}^{min} = \overline{D_{stop}} \quad (3.23)$$

D_{inf}^{max} = Distance maximale à laquelle le message de freinage doit atteindre le conducteur.

Nous calculons la probabilité de recevoir le message en fonction de la distance, en utilisant le modèle introduit par Nakagami [229].

Afin d'évaluer la distance de distribution des messages diffusés, de nombreux facteurs sont pris en compte, par ex. la densité des véhicules, l'emplacement et les conditions du sol, qui affectent l'occurrence des signaux réfléchis. Dans [223, 228, 229, 230], il est proposé d'utiliser l'appareil d'analyse obtenu dans [223] qui, en tenant compte des facteurs ci-dessus, permet la fonction de distribution de probabilité cumulée CDF (Cumulative Distribution Function) du message distance de transmission à évaluer comme suit :

$$F_R(a) = 1 - P(\gamma(a) > \psi) \quad (3.24)$$

Où R est la distance d'interaction ; $P(\gamma(a) > \psi)$ est la probabilité que le rapport signal sur bruit (SNR) soit supérieur à la valeur seuil requise pour une réception correcte du message.

En substituant la fonction de densité de probabilité du modèle de Nakagami [229] dans l'expression (3.24), il est possible de calculer la CDF sous différentes conditions de propagation du signal, selon l'emplacement de la transmission. Dans ce cas, la valeur moyenne de la distance d'information peut être obtenue à partir de (3.24) comme suit :

$$E[R] = \int_0^{\infty} (1 - F_R(a)) da \quad (3.25)$$

3.6.4.1 Algorithme de contrôle du niveau de retard

L'algorithme proposé dans ce travail appartient au groupe de méthodes de diffusion paramétrique probabiliste.

Nous proposons d'utiliser le SINR comme métrique pour contrôler la propagation.

Le principe de base de l'algorithme proposé est de déterminer un délai de transmission des messages entrants ; la valeur du retard varie en fonction du SINR du message reçu. Lorsque le message est retardé, le nœud est placé en mode promiscuité et écoute tout message émis. Si un message en double est reniflé, le message retardé est supprimé.

En outre, l'algorithme limite la durée de vie du message afin de limiter la zone d'informations à la taille requise. Une idée plus détaillée du principe de fonctionnement de l'algorithme peut être obtenue en se référant au schéma synoptique des états de nœud représentés à la figure 3.16.

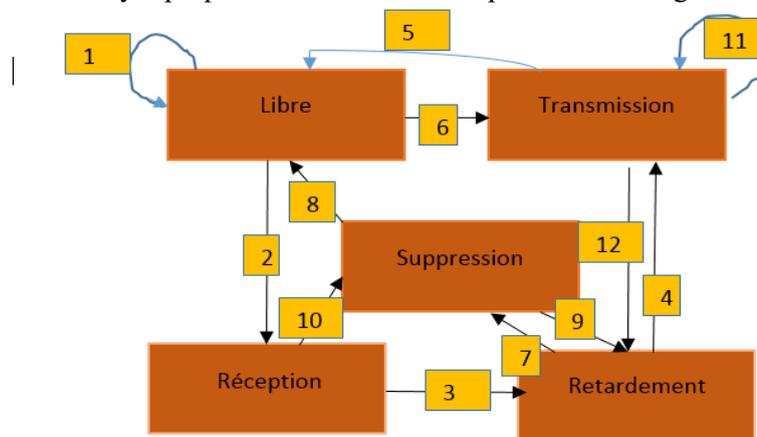


Figure3. 16 Diagramme des transitions d'état des nœuds

L'approche proposée pour l'organisation de la retransmission de messages est extrêmement efficace en cas de congestion d'un grand nombre de véhicules, ce qui se produit souvent dans des conditions urbaines. Dans de telles situations, chaque nœud n'a pas besoin de relayer le message, car cela peut entraîner un encombrement du réseau dans son ensemble.

A l'état initial, le nœud est à l'état libre (1). Le nœud quitte cet état à la réception (2) ou à l'émission (6) d'un message sur le canal. Si un nouveau message arrive, le retard est défini sur la base de la valeur SINR associée, qui est distribuée selon la loi exponentielle (3).

Ce réglage de l'intervalle de retard donne la priorité aux messages avec les niveaux de SINR les plus faibles, car la source de ces messages est soit éloignée, soit située dans la zone d'évanouissement la plus profonde. Si aucun message en double n'est reçu pendant l'intervalle de retard, le message courant est envoyé (4). Sinon (c'est-à-dire si un message en double est reçu), le message d'origine est supprimé. Dans les cas suivants de messages en double, ils sont tous supprimés immédiatement (10).

Une fois l'intervalle de suppression écoulé, le message est supprimé du tampon de retard (7). Si le tampon de retard est vide, le nœud passe à l'état "libre" (8). Sinon, le nœud s'attend à ce que le temporisateur expire pour traiter le message suivant (9). Une fois que tous les messages ont été envoyés à l'aide de la file d'attente de transmission (11), le nœud retourne à l'état libre (5) ou passe à l'état d'attente (12).

3.6.4.2 Choix du délai

Une caractéristique essentielle de l'algorithme proposé est la paramétrisation du retard, qui est basée sur la valeur SINR obtenue à partir de la couche physique. Le délai est défini de manière à maximiser la fiabilité plutôt qu'en fonction de la distance comme c'est le cas dans [223,224]. Ainsi, la priorité n'est pas donnée aux nœuds éloignés de la source mais aux nœuds pour lesquels il y a une dégradation de la probabilité de réussite de la livraison :

$$\text{Délai} = \left(\frac{1}{1+\text{SINR}} \right) * \text{TTL} + \text{cte} \quad (3.26)$$

$$\text{SINR} = \frac{\text{Signal}}{\text{INTERFERANCE}+\text{NOISE}} \quad (3.27)$$

3.6.5 Algorithme proposé

3.6.5.1 Limite de durée de vie et contrôle des doublons

Analysons l'algorithme proposé (Figure 3.16). Un tampon est nécessaire pour stocker les messages entrants. Si le paquet entrant a été diffusé, le paquet est traité. Sinon, le paquet suit le mécanisme standard réglementé par IEEE 802.11p.

Pendant la période de faible charge du canal, la mémoire tampon est principalement vide. Si aucune donnée n'est disponible, le paquet est immédiatement traité, c'est-à-dire que le niveau de signal du paquet entrant est utilisé pour déterminer la valeur de retard correspondante. Un indicateur est utilisé dans la structure du tampon pour indiquer si un message en double a été reçu. Ensuite, le paquet est placé dans la mémoire tampon et le temporisateur réglé est démarré. Un schéma fonctionnel détaillé de cet algorithme est présenté à la figure 3.17.

Le but visé de cet algorithme est de maintenir les paquets avec un TTL inférieur à un seuil $\text{TTL}_{\text{max}} = t_{\text{inf}}^{\text{max}}$, tout en supprimant les paquets en double.

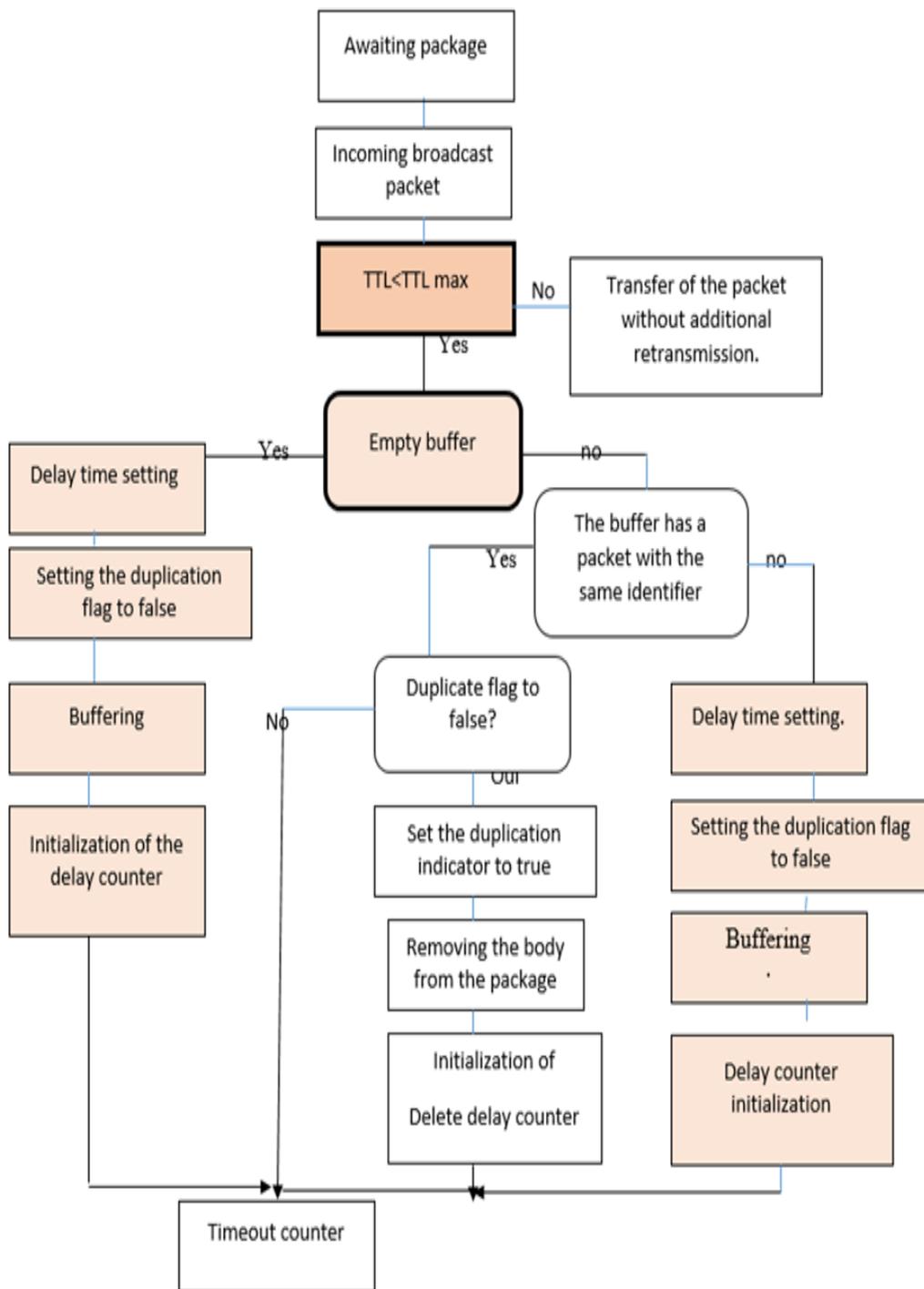


Figure3. 17 Algorithme de contrôle de duplication et de limitation de la durée de vie des paquets

3.6.6 Simulation et paramètres

Afin d'évaluer les performances associées à notre solution, nous avons réalisé une série de simulations.

En nous appuyant sur l'outil de simulation NS-2 (v-2.35), nous évaluons l'efficacité de notre méthode proposée. Le tableau 3.5 résume les paramètres de simulation. Nous considérons le réseau

routier de la ville de Béni Mellal, Maroc (Fig. 3.18), qui est assez complexe et contient de nombreuses structures ramifiées. Une telle zone urbaine est caractérisée par un niveau élevé d'interférences et par des propagations par trajets multiples des ondes radio. La situation s'aggrave aux carrefours routiers en raison de la forte densité de véhicules et des croisements de véhicules qui entraînent une augmentation du nombre de collisions et, par conséquent, une diminution de la probabilité de réussite de la livraison des messages. En nous appuyant sur le simulateur dit SUMO (Simulation of Urban MObility), nous simulons la mobilité des véhicules, en considérant le réseau routier de Béni Mellal.

Table3. 5 Paramètres de simulation

Parameters	Values
Number of Vehicles	200
Version of the simulator	NS-2.35
Simulation Time	200 s
Mobility Model	Béni-Mellal map generated with SUMO
Data Rate	0.25
Packet Size	1000
Traffic Model	FTP
Routing Protocol	AODV
Number of Receivers	1, 2, 3, 4
Number of Senders	1
IEEE standard	802.11p

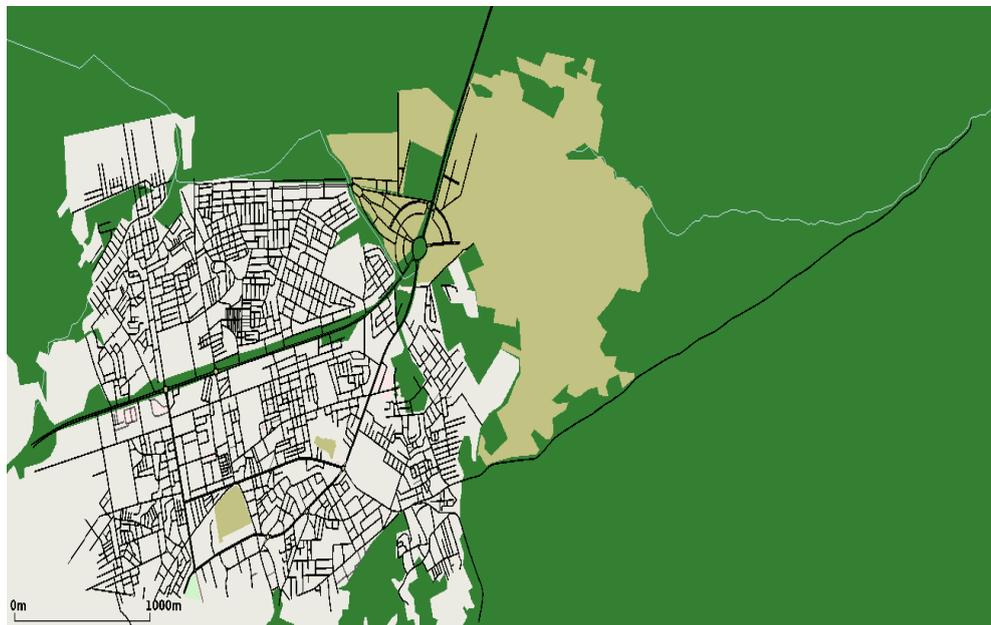


Figure3. 18 Carte de la ville de Béni-Mellal

3.6.6.1 Résultats expérimentaux

Dans les figures 3.19 et 3.20, nous traçons le retard pour plusieurs véhicules qui sont indexés par un nombre qui reflète leur distance à la source. On peut voir qu'avec une solution basique/naïve, le délai est faible lorsque le nœud est éloigné. Comme visible sur la figure 5, le retard au nœud 46 est très élevé par rapport au nœud 80. Avec notre approche, la diffusion du message est favorisée avec les nœuds les plus proches, en fonction du SINR.

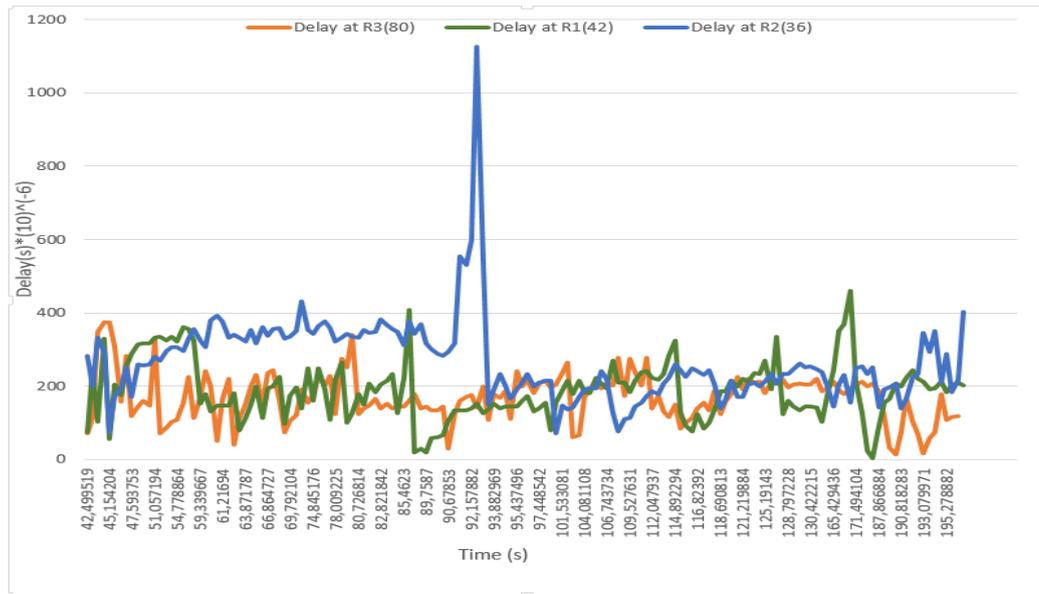


Figure3. 19 Retard dans le cas normal

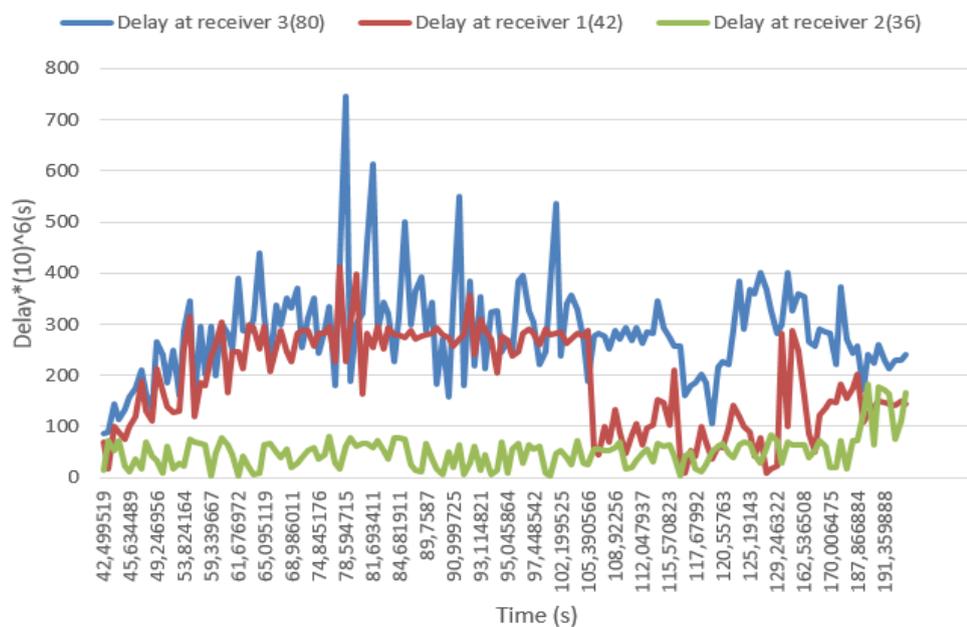


Figure3. 20 Retard dans le cas amélioré

Les figures 3.21 et 3.22 montrent l'influence de la normale et resp. notre protocole amélioré sur le taux de perte de paquets. Comme prévu, le taux de perte de paquets de notre approche est considérablement inférieur à celui du protocole ordinaire.

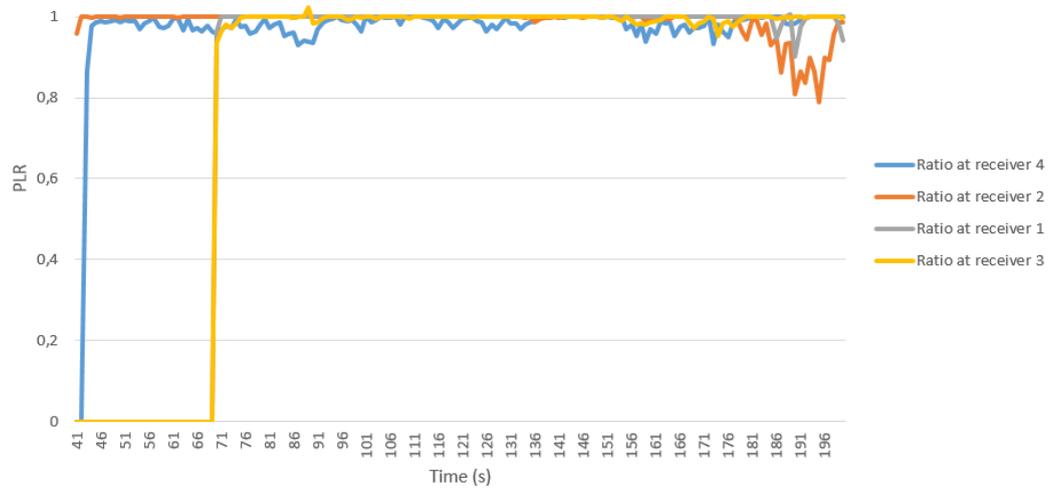


Figure3. 21 Taux de perte de paquets dans le cas normal

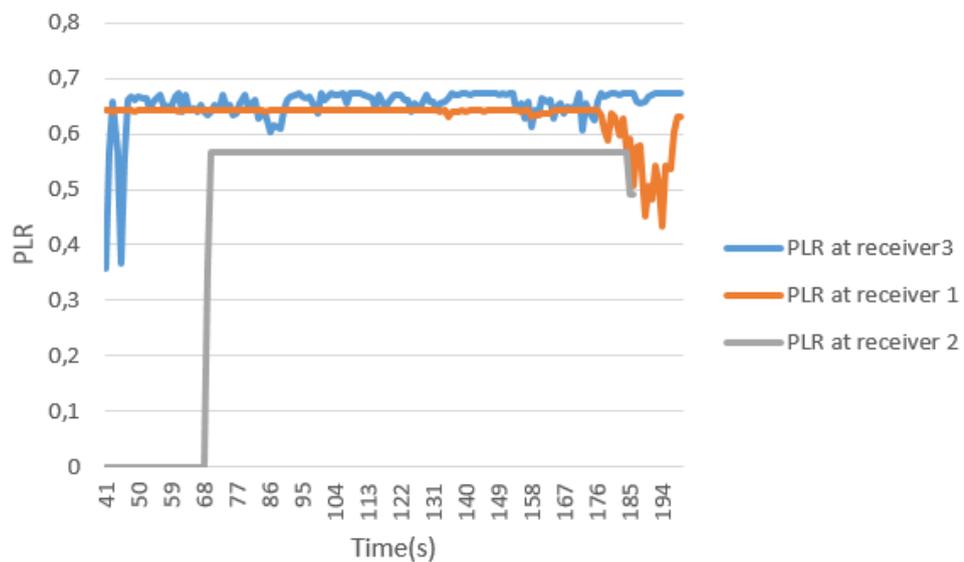


Figure3. 22 Taux de perte de paquets dans le cas amélioré

Un transfert de messages excessif surcharge facilement VANET : par ex. la diffusion incontrôlée de messages sur plusieurs sauts peut entraîner une tempête de messages. À cet égard, notre objectif est de limiter la diffusion des messages à une petite zone et de réduire au minimum le nombre de collisions, sans recourir à un système de positionnement. À cet égard, nous avons proposé d'améliorer la diffusion des messages d'avertissement sur un VANET. La logique de conception proposée est de privilégier les communications longue distance. Pour ce faire, nous transmettons rapidement le message caractérisé par le SINR le plus faible.

3.7 Conclusions

L'utilisation de liaisons sans fil pour la diffusion de vidéos en continu sur Internet devient plus courante aujourd'hui. L'un des problèmes majeurs auquel se heurtent les réseaux ad hoc de véhicules (VANET) est l'absence de connectivité permanente robuste et rentable et de prise en charge de la qualité de service (QoS). En particulier, au fur et à mesure que la complexité du réseau augmente, notre algorithme proposé est capable d'améliorer la performance dans un réseau dynamique.

Dans ce chapitre, notre focalisation s'est portée dans un premier temps sur les solutions de routage afin d'assurer une qualité de service adéquate dans les réseaux ad hoc de véhicules en temps réel, et d'améliorer les performances de perte de paquets. Les résultats indiquent que la performance de notre méthode (algorithme 3) est la plus performante pour le réseau VANET dans toutes les conditions.

Cependant, les résultats de la simulation montrent que l'algorithme 2 se comporte mieux en cas de temps de séjour moyen comparé à l'algorithme 1, ce qui ne lui permet pas de rivaliser avec l'algorithme 3. Par ailleurs, l'algorithme 1 fonctionne convenablement en cas de taux de perte de paquets par rapport à l'algorithme 2. Il est clairement vu que l'algorithme 1 augmente le temps de séjour moyen, donc automatiquement une grande partie des paquets va passer par les chemins les plus longs ou les arêtes les plus longues, ce qui implique que les paquets ne sont pas trop encombrés dans les nœuds et ne peuvent donc être perdus. Par conséquent, Notre protocole s'avérera essentiel pour servir aux mieux les conducteurs, d'avoir un service fiable qui leur permettant d'effectuer un voyage le plus rapidement possible avec un minimum d'encombrement et de temps.

Dans un deuxième temps, nous avons envisagé une méthode et un algorithme pour la distribution du trafic de diffusion des applications liées à la sécurité du trafic dans les réseaux VANET, qui peuvent réduire de manière significative la quantité de trafic routier.

Sur la base des résultats des études menées dans ce chapitre, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

1. La principale raison de l'échec des systèmes de sécurité routière basés sur VANET est la surcharge des ressources du réseau causée par le transfert d'informations excessive en raison de la nécessité de mettre en œuvre les exigences relatives au niveau de fiabilité et à la distance des informations aux usagers de la route.

2. Les méthodes existantes pour optimiser le processus de la distribution de l'information diffusée à partir d'applications liées aux bases de données présentent un certain nombre d'inconvénients.

Celles-ci incluent la nécessité de créer un trafic de service supplémentaire où les exigences en matière de disponibilité des informations provenant des systèmes de positionnement, ce qui peut entraîner une erreur importante dans l'état des bâtiments de grande hauteur ou le fait de ne pas fonctionner, par exemple dans les tunnels.

3. Il est démontré que l'information provenant des applications liées à la base de données est pertinente dans la zone limitée du nœud initiateur. Cette distance dans le cadre du travail de cette thèse est appelée "distance d'information". L'absence de restrictions sur la distribution des messages diffusés par le réglage de la distance d'information entraîne une croissance du trafic réseau de type avalanche et une défaillance de l'ensemble du système de base de données.

4. L'algorithme de retransmission des messages diffusés par les applications connectées à la base de données est développé, permettant de réduire considérablement le chargement improductif d'un réseau et par conséquent de réduire la quantité de collisions et d'augmenter la productivité des réseaux VANET. Un avantage supplémentaire de cet algorithme est l'absence de la nécessité d'utiliser les données des systèmes de positionnement, ce qui rend son fonctionnement plus stable. L'efficacité de l'algorithme proposé est d'autant plus élevée que la densité de nœuds du réseau est élevée. Ce fait est dû à l'augmentation du nombre de nœuds notifiés tout en maintenant ou en modifiant légèrement le nombre de nœuds produisant le relais.



CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Conclusion

De nos jours, le réseau ad hoc de véhicules représente une partie intéressante du système de transport intelligent (ITS). Cette dernière vise à répondre à la question relative à l'amélioration de la sécurité routière, au maintien d'un service de qualité et à l'amélioration des conditions des conducteurs et des passagers.

Cette thèse met l'accent sur l'apport de solutions réalisables aux défis rigoureux de la diffusion vidéo en continu sur les réseaux ad hoc de véhicules (VANET). Plusieurs applications nécessitent ou bénéficieraient considérablement de la prise en charge des capacités de streaming vidéo. Ces applications vont d'un service informatif d'affichage de vidéos capturées en temps réel des rues et des routes de manière à ce que les conducteurs puissent évaluer de meilleures conditions de circulation, à améliorer l'intervention d'urgence en diffusant simultanément des vidéos d'un accident aux ambulanciers paramédicaux dans une ambulance ou aux médecins dans un hôpital.

Cependant, la topologie très dynamique des réseaux VANET pose de graves problèmes de communication. Le degré élevé de circulation des véhicules est la principale caractéristique aggravante des VANET, qui perturbe constamment les liaisons entre véhicules accessibles. De plus, la nature sans fil de la communication crée un scénario selon lequel le canal de communication est partagé entre tous les véhicules à proximité et il est fondamental de gérer correctement son utilisation. Le streaming vidéo souligne le stress au maximum ces défis en raison des exigences strictes de la vidéo en termes de taux de transmission, de latence et d'évolutivité.

Par conséquent, il est fondamental de développer de nouvelles solutions pour ce réseau complexe en fonction de ses particularités. Les solutions antérieures proposées par le modèle des réseaux mobiles ad hoc (MANET) ne conviennent pas aux VANET car la topologie des MANET n'est pas aussi dynamique et que les nœuds des VANET ne souffrent pas des mêmes restrictions matérielles en termes de puissance de calcul et de source d'énergie des nœuds du réseau MANET.

En effet, les véhicules connectés fonctionneront dans une ville connectée/intelligente. Il est alors nécessaire de mettre en œuvre des solutions pour gérer le trafic urbain tout en répondant au mieux aux problèmes de trafic routier et de congestion.

Ainsi, la qualité de service est une considération importante dans les réseaux ad hoc de véhicules en raison du développement rapide de la technologie des réseaux et des applications en temps réel comme le multimédia, la voix, la vidéo en continu, etc.

Dans cette thèse, nous avons commencé par étudier les normes de la compression JPEG (Joint Photographic Experts Group) et spécifiquement JPEG2000 (Joint Photographic Experts Group 2000) ou la compression par ondelettes.

A l'issue de cette étude, nous sommes arrivés à montrer que les ondelette Bior4.4 (Bi-orthogonales) donne un bon compromis entre le PSNR (Peak Signal Noise Ratio) et le taux de compression dans la famille des ondelettes biorthogonales. Ainsi les ondelette Db2 (Daubechies 2) donne un bon PSNR (Peak Signal Noise Ratio), alors que l'ondelette Db3 donne un bon taux de compression dans la famille des ondelettes Daubechies.

Nous avons prouvé aussi que la plupart d'énergie des coefficients est stockée dans les coefficients d'approximation, ce qui permet d'atteindre à des taux de compression élevés.

Par la suite, nous avons étudié de nombreux scénarios et cas multiples d'un réseau sans fil en évaluant les performances d'un réseau Ad-hoc en termes de qualité de service, ce qui sera fait dans un cas de streaming vidéo en mesurant le délai, la gigue et la perte de paquets. Nous avons concentré particulièrement sur les réseaux sans fil ad hoc utilisant la norme 802.11g.

A cet effet, nous avons proposé une nouvelle approche de la gestion du trafic routier dans les villes intelligentes, qui maintient les itinéraires les plus courts, basée sur la théorie des graphes afin de faciliter la gestion du trafic, grâce à l'utilisation d'un algorithme spécifique.

Afin d'améliorer la qualité de service sur le réseau ad hoc des véhicules, une nouvelle méthode est ensuite présentée, qui assure la sécurité des véhicules en minimisant le nombre d'échanges entre véhicules, en optimisant la consommation et la durée de vie des capteurs.

Tout d'abord, notre approche consiste à concevoir et développer des techniques d'optimisation pour planifier une infrastructure de réseau de véhicules efficace et efficiente. Cela implique de prendre en compte la mobilité des véhicules et de trouver les itinéraires les plus appropriés en fonction des contraintes de mobilité et des exigences de qualité de service. En optimisant les itinéraires, nous visons à réduire les déconnexions coûteuses et à améliorer la fiabilité des communications dans le réseau.

Deuxièmement, nous proposons de concevoir et de développer des mécanismes de gestion adaptative basés sur la qualité de service (QoS).

En combinant ces approches, nous visons à surmonter les contraintes de routage dans les réseaux de véhicules, en particulier pour les applications de streaming vidéo exigeantes en termes de volume de données et de continuité du flux.

Par la suite, nous avons classifié et recherché des méthodes permettant l'amélioration la résilience des systèmes de sécurité routière, en développant un modèle permettant la représentation du nœud de réseau automobile en tant que système de file d'attente.

Dans le cadre de cette approche, nous introduisons une nouvelle stratégie de diffusion qui vise à donner la priorité aux messages urgents liés à un accident dans les réseaux de véhicules. Notre objectif est d'alerter rapidement les véhicules à proximité et d'éviter les accidents potentiels.

Grâce à ce modèle, une méthode de propagation du trafic de diffusion a été proposée, à partir d'applications liées au trafic basée sur un algorithme paramétrique qui limite le nombre de nœuds de relais sur la base de la valeur SINR. Contrairement aux systèmes existants, il se caractérise par l'absence d'exigences concernant la disponibilité des données de navigation provenant de systèmes externes, décide de relais en fonction de la valeur SINR.

En conclusion, notre projet propose une nouvelle stratégie de diffusion qui donne la priorité aux messages urgents liés à un accident dans les réseaux de véhicules. Nous évaluons la distance des messages pour définir leur priorité, évitons la saturation du canal de transmission et accélérons la diffusion des messages. Cette approche vise à renforcer la sécurité et la réactivité des réseaux de véhicules en cas d'accidents.

Perspectives :

Dans la poursuite de nos projets de thèse, cette partie présente nos perspectives pour la recherche ou l'application directe de nos contributions dans cette thèse. Tout d'abord, pour une application directe de notre travail, nous commençons par une application sur un ensemble d'outils de modélisation NS-2, SUMO, TraNS, des modèles de simulation du processus de répartition du trafic routier liées à la sécurité routière.

D'autre part, dans le réseau véhiculaire, dont les nœuds sont des voitures électriques (EV), nous pouvons concevoir une amélioration au niveau du choix de la station de recharge électrique. Cependant, nous visons à appliquer notre algorithme de diffusion dans ce cas-là, en fonctionnalité de la distance, la capacité de station, et l'embouteillage.

En outre, nous envisageons de poursuivre la recherche sur nos contributions antérieures afin d'améliorer à la fois la mobilité connectée et la mobilité durable.

En mobilité connectée, nous visons à améliorer le protocole DHVN en ajustant la fréquence de transmission et en utilisant des RSU lorsqu'aucun relais n'est disponible. De plus, nous prévoyons d'aller plus loin dans l'analyse des délais et d'étudier analytiquement l'impact d'un trafic de données élevé sur les solutions de routage ODEL et DHVN pour voir comment nous pouvons les étendre pour supporter de nouvelles applications temps réel telles que : téléchargement de fichiers, transmission vidéo, etc. De plus, dans notre thèse, nous nous sommes concentrés sur la communication sans prendre en compte les problèmes de sécurité.

Pour ce qui est de la mobilité durable, notre objectif est d'entreprendre des recherches plus originales afin de mieux intégrer les différentes entités de transport durable à rassembler. Cependant, le secteur de la mobilité durable en est encore à ses débuts, il apporte de nombreux nouveaux défis qui nous poussent à suivre ces défis et à chercher à améliorer l'état d'avancement actuel en proposant de nouvelles solutions de gestion et en identifiant les mesures et les meilleures conditions pour déployer et utiliser efficacement les infrastructures énergétiques et les moyens de transport durables.

Nous prévoyons également d'effectuer des simulations et des tests intensifs pour valider notre travail et prendre en compte de nouveaux paramètres tels que le comportement des conducteurs.



Liste des publications

- Ennaciri, A., Erritali, M., Mabrouki, M., & Bengourram, J. (2015). Comparative Study of Wavelet Image Compression: JPEG2000 Standart. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, 16(1), 83-90.
- Ennaciri, A., Erritali, M., Mabrouki, M., & Bengourram, J. (2016, March). Performance analysis of Streaming Video over Vehicular ad-hoc. In 2016 13th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGiV) (pp. 375-380). IEEE.
- Ennaciri A., Khadim R., Erritali M., Mabrouki M., Bengourram J. (2019) Contribution to the Improvement of the Quality of Service Over Vehicular Ad-Hoc Network. In: Ezziyyani M. (eds) Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development (AI2SD'2018). AI2SD 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 915. Springer, Cham
- Ennaciri, A., Erritali, M., Cherkaoui, B., & Sailhan, F. (2021). Optimal broadcasting algorithm for VANET system. In Mobile, Secure, and Programmable Networking: 6th International Conference, MSPN 2020, Paris, France, October 28–29, 2020, Revised Selected Papers 6 (pp. 209-222). Springer International Publishing.

Liste des communications

- ENNACIRI Ansam, ERRITALI Mohammed, MABROUKI Mustapha, BENGOURRAM Jamaa. Comparative Study of Wavelet Image Compression: JPEG2000 Standart. *The Second International Conference on Business Intelligence (CBI'15)*, à FST, Béni Mellal, 23-25, Avril 2015.
- ENNACIRI Ansam, ERRITALI Mohammed, MABROUKI Mustapha, BENGOURRAM Jamaa. Performance analysis of streaming video over vehicular ad-hoc. *First spring conference on applied science and computing 30-31 Mai 2015, EST Essaouira*.
- ENNACIRI Ansam, ERRITALI Mohammed, MABROUKI Mustapha, BENGOURRAM Jamaa. . Performance analysis of streaming video over vehicular ad-hoc. *13th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV 2016)* ».Béni-Mellal.
- ENNACIRI Ansam, KHADIM Rania, ERRITALI Mohammed, MABROUKI Mustapha BENGOURRAM Jamaa. Contribution to the Improvement of the Quality of Service Over Vehicular Ad-Hoc Network. *The 4th International Conference on Business Intelligence. 25-27 Avril, 2018, Béni Mellal*,
- ENNACIRI Ansam, KHADIM Rania, ERRITALI Mohammed, MABROUKI Mustapha BENGOURRAM Jamaa. Contribution to the Improvement of the Quality of Service Over Vehicular Ad-Hoc Network. *The International Conference on Advanced Intelligent Systems for Sustainable Development. AI2SD'2018. 12-14 Juillet, Tanger*.
- ENNACIRI Ansam, ERRITALI Mohammed, CHERKAOUI, Badreddine., & Sailhan, Françoise (2021). Optimal broadcasting algorithm for VANET system. In *Mobile, Secure, and Programmable Networking: 6th International Conference, MSPN 2020, Paris, France, October 28–29, 2020, Revised Selected Papers 6* (pp. 209-222). Springer International Publishing.



Bibliographie

- [1] Richard J Weiland and Lara Baughman Purser. Intelligent transportation systems. Transportation in the New Millennium, 2000.
- [2] Reddy, G. R., & Ramanathan, R. (2019). Performance analysis of clustering for message classification and congestion control in DSRC/WAVE-based vehicular ad-hoc networks. *International Journal of Vehicle Information and Communication Systems*, 4(1), 55-77.
- [3] Ravi, B., Thangaraj, J., & Petale, S. (2019). Data Traffic Forwarding for Inter-vehicular Communication in VANET Using Stochastic Method. *Wireless Personal Communications*, 106(3), 1591-1607.
- [4] Qayyum, A., Usama, M., Qadir, J., & Al-Fuqaha, A. (2019). Securing Connected & Autonomous Vehicles: Challenges Posed by Adversarial Machine Learning and The Way Forward. arXiv preprint arXiv:1905.12762.
- [5] Zhang, E. Z., & Zhang, X. (2019, July). Road Traffic Congestion Detecting by VANET. In 2nd International Conference on Electrical and Electronic Engineering (EEE 2019). Atlantis Press.
- [6] Bento, L. C., Parafita, R., Rakha, H. A., & Nunes, U. J. (2019). A study of the environmental impacts of intelligent automated vehicle control at intersections via V2V and V2I communications. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 23(1), 41-59.
- [7] Rault, G., Lacomme, P., & Sevaux, M. (2019, February). Problèmes de tournées de véhicules avec interactions transmodales en milieu urbain. In ROADEF: Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision.
- [8] Jennifer F. May and Carryl L. Baldwin. Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 12(3):218 – 224, 2009.
- [9] S.P. Tseng, Yung-Sheng Liao, Chih-Hsie Yeh, and Li-Kung Huang. A dsp-based lane recognition method for the lane departure warning system of smart vehicles. In *Networking, Sensing and Control, 2009. ICNSC '09. International Conference on*, pages 823–828, 2009.
- [10] M. Gerla. Vehicular cloud computing. In *Ad Hoc Networking Workshop (Med-Hoc- Net), 2012 The 11th Annual Mediterranean*, pages 152–155, 2012.
- [11] J.C. Haartsen and S. Mattisson. Bluetooth-a new low-power radio interface providing short-range connectivity. *Proceedings of the IEEE*, 88(10):1651–1661, 2000.
- [12] G. Anastasi, E. Borgia, M. Conti, and Enrico Gregori. Ieee 802.11 ad hoc networks: performance measurements. In *Distributed Computing Systems Workshops, 2003. Proceedings. 23rd International Conference on*, pages 758–763, 2003.
- [13] M. Tran, G. Zaggoulos, A. Nix, and A. Doufexi. Mobile wimax: Performance analysis and comparison with experimental results. In *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*, pages 1–5, 2008.
- [14] Fan Bai, Daniel D. Stancil, and Hariharan Krishnan. Toward understanding characteristics of dedicated short range communications (dsrc) from a perspective of vehicular network engineers. In *Proceedings of the sixteenth annual international conference on Mobile computing and networking, MobiCom '10*, pages 329–340, New York, NY, USA, 2010. ACM.
- [15] Coroamă, V. C., Türk, C., & Mattern, F. (2019, September). Exploring the usefulness of bluetooth and wifi proximity for transportation mode recognition. In *Proceedings of the 2019 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2019 ACM International Symposium on Wearable Computers* (pp. 37-40). ACM.

- [16] Patel, U., & Upadhyaya, T. K. (2019). Design and Analysis of Compact μ -Negative Material Loaded Wideband Electrically Compact Antenna for WLAN/WiMAX Applications. *Progress In Electromagnetics Research*, 79, 11-22.
- [17] Begin, T., Busson, A., Lassous, I. G., & Boukerche, A. (2019). Performance Analysis of Video on Demand in an IEEE 802.11 p-based Vehicular Network. *Computer Communications*, 146, 174-185.
- [18] Rault, G., Lacomme, P., & Sevaux, M. (2019, February). Problèmes de tournées de véhicules avec interactions transmodales en milieu urbain. In *ROADEF: Recherche Opérationnelle et d'Aide à la Décision*.
- [19] Renaudin, V., & Ortiz, M. (2019, June). véhicules autonomes.
- [20] Yu, Q., Luo, Y., Chen, C., & Zheng, X. (2019). Road Congestion Detection Based on Trajectory Stay-Place Clustering. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(6), 264.
- [21] Shuanggen Jin. *GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS – SIGNAL , THEORY AND APPLICATIONS*. InTech, 2012.
- [22] A Mäntynen - Jälkiasennettavan moottorinhjauksen asennus ja säätö-2015 - theseus.fi.
- [23] Marrs, T. C., & Barlow, S. P. (2018). U.S. Patent Application No. 15/419,403.
- [24] John Rushby, S R I International, and Menlo Park. *A Comparison of Bus Architectures for Safety-Critical Embedded Systems*, volume 2211 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2001.
- [25] S. Chakraborty, M. Lukasiewicz, C. Buckl, S. Fahmy, P. Leteinturier, and H. Adlkofer. Embedded systems and software challenges in electric vehicles. *2012 Des. Autom. Test Eur. Conf. Exhib.*, pages 424–429, March 2012.
- [26] Felix Jesus Villanueva Molina. *Ambient Intelligence*. 2010.
- [27] Lu, Z., Qu, G., & Liu, Z. (2018). A survey on recent advances in vehicular network security, trust, and privacy. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 20(2), 760-776.
- [28] Ferrer, R., & de Borja, F. (2018). An Approach to Automatically Distribute and Access Knowledge within Networked Embedded Systems in Factory Automation.
- [29] Open Automotive Alliance (OAA). :<http://www.openautoalliance.net/#about>. Dernière consultation : Fevrier 2020.
- [30] Sicard, T.M. (2006). Réseau d'interconnexion locale (LIN), circuit intégré et procédé de mise en oeuvre.
- [31] R.M. Daoud, H.H. Amer, H.M. Elsayed, and Y Sallez. Ethernet-Based Car Control Network. In *Proc. Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, pages 1031–1034. IEEE, 2006.
- [32] John Rushby, S R I International, and Menlo Park. *A Comparison of Bus Architectures for Safety-Critical Embedded Systems*, volume 2211 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, 2001.
- [33] Conal Watterson. *Controller Area Network (CAN) Implementation Guide*. Technical report, 2012.
- [34] Automotive Buses. [http://www.interfacebus.com/Design Connector Automotive](http://www.interfacebus.com/Design_Connector_Automotive). Dernière consultation Fevrier 2020.
- [35] P Murphy, E Welsh, and J P Frantz. Using Bluetooth for short-term ad hoc connections between moving vehicles: a feasibility study. In *Veh. Technol. Conf. 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th*, volume 1, pages 414–418 vol.1, 2002.
- [36] S. D. Dissanayake, P. P. C. R. Karunasekara, D. D. Lakmanarachchi, A. J. D. Rathnayaka, and A. T. L. K. Samarasinghe. Zigbee Wireless Vehicular Identification and Authentication System. In *Inf. Autom. Sustain. 2008. ICIAFS 2008. 4th Int. Conf.*, pages 257–260, December 2008.
- [37] A Al Masud, M. N. I. Mondal, and K. M. Ahmed. Vehicular communication system for vehicle safety using RFID. In *Commun. (MICC), 2009 IEEE 9th Malaysia Int. Conf.*, pages 697–702, December 2009.
- [38] [34] IEEE Standard for Information technology–Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks–Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Ame. IEEE Stand. Inf. Technol. Inf. Exch. between Syst. Local Metrop. area networks–Specific Requir. Part 11 Wirel. LAN Mediu. Access Control Phys. Layer Specif. Ame, pages –.
- [39] IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Networking Services - Redline. IEEE Std 1609.3-2010 (Revision IEEE Std 1609.3-2007) - Redline, pages 1–212, December 2010.
- [40] IEEE Standard for WirelessMAN-Advanced Air Interface for Broadband Wireless Access Systems. IEEE Std

802.16.1-2012, pages 1–1090, September 2012.

- [41] 3rd Generation Partnership Project (3GPP). <http://www.3gpp.org/> Dernière consultation Février 2020.
- [42] Rainer Bachl, Peter Gunreben, Suman Das, and Said Tatesh. The long term evolution towards a new 3GPP air interface standard. *Bell Labs Tech. J.*, 11(4):25–51,2007.
- [43] Anand, P. *Intelligent Vehicular Networks and Communications Fundamentals, Architectures and Solutions* / P. Anand, N. Chilamkurti, A. Daniel, S. Rho // Todd Green, 2017. - 227 p.
- [44] ETSI EN 302 663 V1.2.1 (2013-05). Intelligent Transport Systems (ITS);. Access layer specification for. Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band .
- [45] ETSI EN 302 665 V1.1.2 (2014-03) European Standard (Telecommunications series) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network Architecture
- [46] Intelligent Transport Systems (ITS); Framework for conformance and interoperability testing, ETSI EG 202 798, Jan. 2011.
- [47] Zear, A. Intelligent Transport System: A Progressive Review/ Zear, A., Singh, P. K., Singh, Y. // *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9(32), August 2016. – P. 1-8.
- [48] Sussman, J. M., *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)* / Sussman J. M. // New York: Springer-Verlag, 2005.
- [49] [47] Yan, X. Research and Development of Intelligent Transportation Systems. / Yan X., Zhang H., Wu C. // 2012 11th International Symposium on Distributed Computing and Applications to Business, Engineering & Science. 2012. pp.321-327.
- [50] Sladkowski, A. *Intelligent Transportation Systems – Problems and Perspectives* / A. Sladkowski, W. Pamula // Springer; 2016 edition. June 25, 2015. – 303 p.
- [51] Naja, R. *Wireless Vehicular Networks for Car Collision Avoidance* / Rola Naja // Springer-Verlag New York. 2013. - 264 p.
- [52] ISO/TC 204 Intelligent transport systems [Source électronique]. — Mode d'accès: www.iso.org/committee/54706.html. Dernière consultation Février 2020.
- [53] Site web de la commission CEN. - Mode d'accès: <http://www.itsstandards.eu/wgs>. Dernière consultation Février 2020.
- [54] Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport Text with EEA relevance
- [55] M/453 Standardisation mandate addressed to cen, cenelec and etsi in the field of information and communication technologies to support the interoperability of co-operative systems for intelligent transport in the european community. Brussels, 6 th October 2009
- [56] Dimitrakopoulos, G. *Current Technologies in Vehicular Communication* / Dimitrakopoulos G. // Springer International Publishing AG 2017, - 121 p.
- [57] ETSI EN 302 637-2 V1.3.1 (2014-09) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service
- [58] ETSI EN 302 637-3 V1.2.1 (2014-09) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service
- [59] Projet COMeSafety. - Mode d'accès: <http://www.ecomove-project.eu/links/comesafety/>
- [60] Le projet eCoMove. —Mode d'accès: <http://ecomove.dk/>
- [61] 802.11p-2010 - IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments .
- [62] IEEE 1609.0-2013 - IEEE Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) – Architecture

- [63] IEEE 1609.1-2006 - Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Resource Manager
- [64] IEEE 1609.2a-2017 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments--Security Services for Applications and Management Messages - Amendment 1
- [65] IEEE 1609.3-2016 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) -- Networking Services
- [66] IEEE 1609.4-2016 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) -- Multi-Channel Operation
- [67] IEEE 1609.11-2010 - IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Over-the-Air Electronic Payment Data Exchange Protocol for Intelligent Transportation Systems (ITS)
- [68] IEEE 1609.12-2016 IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Identifier Allocations
- [69] DSRC Implementation Guide. A guide to users of SAE J2735 message sets over DSRC.SAE International, 2010.
- [70] IntelligentTransport Systems (ITS); Communications Architecture, ETSI EN 302 665, September 2010.
- [71] ISO/IEC 21210: "Intelligent Transport Systems - Communications access for land mobiles (CALM) - IPv6 networking".
- [72] ISO/IEC 21214: "Intelligent Transport Systems - Communications access for land mobiles (CALM) - IR medium"
- [73] ETSI TS 102 637-1 V1.1.1 (2010-09) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 1: Functional Requirements
- [74] ETSI TS 102 637-2 V1.2.1 (2011-03) Intelligent Transport Systems (ITS);Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 2: Specification of Cooperative Awareness Basic Service
- [75] ETSI TS 102 637-3 V1.1.1 (2010-09)Intelligent Transport Systems (ITS);Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part 3: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service
- [76] ETSI EN 302 636-5-1 V2.1.1 (2017-08) Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 5: Transport Protocols; Sub-part 1: Basic Transport Protocol
- [77] ETSI TS 102 636-3 V1.1.1 (2010-03) Technical Specification. Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; GeoNetworking; Part 3: Network architecture
- [78] ETSI TS 102 637-4 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic set of applications; Part 4: Operational Requirements.
- [79] ETSI TS 101 539-1 V1.1.1 (2013-08) Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 1: Road Hazard Signalling (RHS) application requirements specification
- [80] SAE J2735 Standard: Applying the Systems Engineering Process. Final Report —January 2013.
- [81] Rahman, K. A. Towards a cross-layer baed MAC for smooth V2V and V2I communications for safety applications in DSRC/WAVE based systems / K. A. Rahman, K. E. Tepe // 2014 IEEE Intelligent Vehicles Symposium Proceedings. 2014. - P. 969 – 973.
- [82] Sabouni, R. Performance of DSRC for V2V communications in urban and highway environments / R. Sabouni, R. M. Hafez // 2012 25th IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). 2012. - P. 1-5.
- [83] Li, Y.(Jeff). An Overview of the DSRC/WAVE Technology. / Li Y.(Jeff). // QShine 2010: Quality, Reliability, Security and Robustness in Heterogeneous Networks. 2010. - P. 544-558.
- [84] ETSI TS 102 760-1 V1.2.1 (2014-06) Intelligent Transport Systems (ITS); Communications Access for Land Mobiles (CALM); Test specifications for Access Technology Support (ISO 21218); Part 1: Implementation Conformance Statement (ICS) .
- [85] ISO/IEC 21217: "Intelligent Transport Systems - Communications access for land mobiles (CALM) - Architecture".
- [86] ISO/IEC IS 21215: "Intelligent Transport Systems - Communications access for land mobiles (CALM) - M5 medium".
- [87] Dressler, F.Inter-Vehicle Communication - Quo Vadis / Dressler F., Hartenstein H., Altintas O., Tonguz O.K. // IEEE

Communications Magazine, vol. 52, no.6. June 2014. – P. 170-177.

- [88] Jakubiak, J. State of the art and research challenges for VANET / Jakubiak J., Koucheryavy Y. // Proceedings, IEEE CCNC 2008, Las Vegas, USA, January 10-12, 2008. – P. 912-916.
- [89] Ayyappan, B. Vehicular Ad Hoc Networks (VANET): Architectures, methodologies and design issues / B. Ayyappan, P. Mohan Kumar // 2016 Second International Conference on Science Technology Engineering and Management (ICONSTEM). 30-31 March 2016. – P. 177-180.
- [90] S. Zeadally, R. Hunt, Y.-S. Chen, A. Irwin, and A. Hassan, "Vehicular ad hoc networks (VANET): status, results, and challenges," *Telecommunication Systems*, vol. 50, pp. 217-241, 2012.
- [91] L. Nassar, A. Jundi, K. Golestan, F. Sattar, F. Karray, M. Kamel, et al., "Vehicular ad-hoc Networks (VANET): capabilities, challenges in context-aware processing and communication gateway," *Autonomous and Intelligent Systems*, ed: Springer, pp. 42-49, 2012.
- [92] G. Karagiannis, O. Altintas, E. Ekici, G. Heijenk, B. Jarupan, K. Lin, et al., "Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 13, pp. 584-616, 2011.
- [93] M. Kaur, "Vehicular ad hoc networks," *Journal of Global Research in Computer Science*, vol. 3, pp. 61-64, 2012.
- [94] N. Gul, N. Qamar, and A. Shahzad, "A Survey on Architecture, Protocols, Challenges and Solutions on Vehicular Networking."
- [95] T. ETSI, "102 638 Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Definitions," ETSI, Sophia Antipolis Cedex, France, 2009.
- [96] J. Hellåker, "OEM Commitment to deploy", in proceedings of Car 2 Car Forum 2012, 13-14 November 2012, Gothenburg, Sweden.
- [97] IEEE Std. 802.11p/D9.0: Draft Standard for Information Technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments (2009) Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, U.S.A.
- [98] G.R.Hiertz, D.Denteneer, L.Stibor, Y.Zang, X.P.Costa and B.Walke, "The IEEE 802.11 Universe", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No 1, January 2010, pp 62 – 70.
- [99] IEEE P1609.0/D5, IEEE Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) Architecture, (2012) Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., New York, U.S.A.
- [100] C.Han, M.Dianati, R.Tafazolli, R.Kernchen and X.Shen, "Analytical Study of the IEEE 802.11p MAC Sublayer in Vehicular Networks", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2012, pp 873-886.
- [101] K.Dar, M.Bakhouya, J.Gaber, M.Wack and P.Lorenz, "Wireless Communication Technologies for ITS Applications", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 48, No 5, May 2010, pp 156 – 162.
- [102] C. Suthaputthakun and Z. Sun, "Routing protocol in intervehicle communication systems: A survey", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 49, No. 12, December 2011, pp. 150 – 156.
- [103] F.J. Martinez, C-K Toh, J-C Cano, C.T. Calafate and P. Manzoni, "Emergency services in future intelligent transportation systems based on vehicular communication networks", *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, Vol. 2 No. 2, Summer 2010, pp.6 – 20.
- [104] ETSI TS 101 539-3 V1.1.1 (2013-11) Intelligent Transport Systems (ITS); V2X Applications; Part 3: Longitudinal Collision Risk Warning (LCRW) application requirements specification
- [105] European Commission, DG INFSO "INFSO G4/JJ D(2006) 701311 Working Paper on Intelligent Co-operative Systems based on V2V and V2I Communications", Jan. 2006.
- [106] J-J. Chang, Y-H, Li, W. Liao and I-C Chang, "Intersection-based routing for urban vehicular communications with traffic-light considerations", *IEEE Wireless Communications Magazine*, Vol. 19, No. 7, February 2012, pp. 82-88.
- [107] H. Liang and W. Zhuang, "Cooperative data dissemination via roadside WLANs", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 50, No. 4, April 2012, pp. 68-74.
- [108] M. Emmelmann, B. Bochow and C.C. Kellum, "Vehicular networking – Automotive applications and beyond", John Wiley & Sons Ltd, 2010, 296 pp.

- [109] J. Gozalvez, M. Sepulcre and R. Bauza, "IEEE 802.11p vehicle to infrastructure communications in urban environments", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 50, No. 5, May 2012, pp. 176 – 183.
- [110] A. Festag, G. Noecker, M. Strassberger, A. Lübke, B. Bochow, M. Torrent-Moreno, et al., "'NoW–Network on Wheels': Project objectives, technology and achievements," 2008.
- [111] Benaidja, A. An Optimal Broadcast of Warning Messages in Vehicular Ad Hoc Networks / A. Benaidja, S. Moussaoui, F. Naït-Abdesselam // *International Journal of Computer and Information Technology* (ISSN: 2279 – 0764), Sep. 2013. – P. 986-992.
- [112] Burke, P. J. The Output of a Queuing System / Burke, P. J. // *Operations Research*. 4 (6). 1956. – P. 699–704.
- [113] Korkmaz, G. Urban MultiHop Broadcast Protocol for InterVehicle Communication Systems / G. Korkmaz, E. Ekici // *ACM VANET'04*, Oct. 2004. – P. 76-85.
- [114] Li, G.-S. An Adaptive and Opportunistic Broadcast Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks. / G.-S. Li, W.-L. Wang, X.-W. Yao // *International Journal of Automation and Computing* 9(4), Aug. 2012. – P. 378-387.
- [115] Ma, X. Design and Analysis of a Robust Broadcast Scheme for VANET Safety-Related Services./ X. Ma, J. Zhang, X Yin, K. S. Trivedi // *IEEE Transactions on Vehicular Technology* (Volume: 61 , Issue: 1 , Jan. 2012). -P. 46-61.
- [116] Najafzadeh, S. Broadcasting in Connected and Fragmented Vehicular Ad Hoc Networks. / S. Najafzadeh, N. B. Ithnin, S. A. Razak // *International Journal of Vehicular Technology*. Volume 2013, P. 249–258.
- [117] Nakorn, N. "POCA: position-aware reliable broadcasting in VANET" / N. Nakorn, K. Rojviboonchai // in *Proceedings of the Asia-Pacific Conference of Information Processing (APCIP '10)*, Nanchang, China, 2010. – P. 420–428.
- [118] Samara, G. Intelligent Emergency Message Broadcasting in VANET Using PSO. / Samara G., Alhmiedat T. // *WCSIT*, ISSN: 2221-0741, 2014.
- [119] Miao, M. Implementation and Demonstration of WAVE Networking Services for Intelligent Transportation Systems / Miao M., Zheng Q., Zheng K., Zeng Z. // Springer. *Internet of Vehicles – Technologies and Services, IOV 2014*. – P. 130-139.
- [120] ETSI TS 101 556-1 V1.1.1 (2012-07) Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communication; Electric Vehicle Charging Spot Notification Specification.
- [121] ETSI TS 101 556-2 V1.1.1 (2016-02) Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communication; Part 2: Communication system specification to support application requirements for Tyre Information System (TIS) and Tyre Pressure Gauge (TPG) interoperability.
- [122] ETSI TS 101 556-3 V1.1.1 (2014-10) Intelligent Transport Systems (ITS); Infrastructure to Vehicle Communications; Part 3: Communications system for the planning and reservation of EV energy supply using wireless networks.
- [123] Pyykonen, P. Vehicle ITS station for C2X communication. / P. Pyykonen, K. Kauvo, J. Viitanen, P. Eloranta // 2014 IEEE 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP). 2014. - P. 211 – 214
- [124] Shi, L. Spectrum Requirement for Vehicle-to-Vehicle Communication for Traffic Safety/ L. Shi, K. Won Sung // 2014 IEEE 79th Vehicular Technology Conference (VTC Spring). 18-21 May 2014. – P. 1-5.
- [125] Mishra, P. Design Approach for Accidents Notification in Vehicular Ad Hoc Network./ P. Mishra, A. Jaiswal. // 2015 Fifth International Conference on Communication Systems and Network Technologies. 2015. - P. 164-168.
- [126] Bastani, S. Impact of beaconing policies on traffic density estimation accuracy in traffic information systems. / S. Bastani, L. Libman, S. Travis Waller // *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks 2014*. 2014. - P. 1-6.
- [127] S. Khalfallah, M. Cherif M. Jerbi, SM. Senouci, and B. Ducourthial. Expérimentations des communications inter-véhicules : Implémentation d'un service de diffusion d'annonce publicitaire autour d'un magasin Orange utilisant les communications I2V et V2V. Technical report, CFIP, Les Arcs, France, 2008.
- [128] A. Majumda, D.G. Sachs, I.V. Kozintsev, K. Ramchandran, and M.M. Yeung. Multicast and unicast real-time video streaming over wireless lans. *Circuits and Systems for Video Technology*, IEEE Transactions on, 12(6):524–534, 2002.

- [129] Tim Szigeti and Christina Hatttingh. *End-to-End QoS Network Design: Quality of Service in LANs, WANs, and VPNs (Networking Technology)*. Cisco Press, 2004.
- [130] F. Soldo, C. Casetti, C.-F. Chiasserini, and P.A. Chaparro. Video streaming distribution in VANET. *Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on*, 22(7):1085–1091, july 2011.
- [131] Fei Xie, K.A. Hua, Wenjing Wang, and Y.H. Ho. Performance study of live video streaming over highway vehicular ad hoc networks. In *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, pages 2121–2125, 30 2007-oct. 3 2007.
- [132] M. Asefi, S. Cespedes, Xuemin Shen, and J.W. Mark. A seamless quality-driven multi-hop data delivery scheme for video streaming in urban VANET scenarios. In *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2011, pages 1–5, june 2011.
- [133] Sri Gundavelli, Kent Leung, Vijay Devarapalli, Kuntal Chowdhury, and Basavaraj Patil. Proxy mobile IPv6. RFC 5213, RFC Editor, Fremont, CA, USA, August 2008.
- [134] M. Asefi, J.W. Mark, and Xuemin Shen. A cross-layer path selection scheme for video streaming over vehicular ad-hoc networks. In *Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2010-Fall)*, 2010 IEEE 72nd, pages 1–5, sept. 2010.
- [135] Joon-Sang Park, Uichin Lee, Soon Y. Oh, Mario Gerla, and Desmond S. Lun. Emergency related video streaming in VANET using network coding. In *VANET '06: Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*, pages 102–103, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [136] Zhenyu Yang, Ming Li, and Wenjing Lou. Codeplay: Live multimedia streaming in VANET using symbol-level network coding. In *Network Protocols (ICNP)*, 2010.18th IEEE International Conference on, pages 223–232, oct. 2010.
- [137] Alberto Gonzalez, Kayhan Zrar Ghafoor, Ramon Piney, Andre Rios, Jesus Alcober, and Kamalrulnizam Bakar. Fuzzy redundancy adaptation and joint source-network coding for VANET video streaming. In *Xavier Masip-Bruin, Dominique Verchere, Vassilis Tsaoussidis, and Marcelo Yannuzzi, editors, Wired/Wireless Internet Communications*, volume 6649 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 458–469. Springer Berlin / Heidelberg, 2011. 10.1007/978-3-642-21560-5_38.
- [138] M. Sardari, F. Hendessi, and F. Fekri. Dmrc: Dissemination of multimedia in vehicular networks using rateless codes.
- [139] Frederic Dufaux. *Compression d'images par ondelettes*. TELECOM Paris Tech. 2011.
- [140] DS Taubman, MW Marcellin. *JPEG2000: Image compression fundamentals, standard and practice*. Kluwer Academic Publishers. Boston. 2002.
- [141] M Rabbani, R Joshi. An overview of the JPEG 2000 still image compression standard. Elsevier, *Signal processing: Image communication*. 2002: 3-48.
- [142] YQ SHi, H Sun. *Image and video compression for multimedia engineering*. Second Ed. CRC press, Taylor & Francis group. 2008.
- [143] V Chandrasekhar, G Takacs, D Chen, SS Tsai, J Singh, B Girod. Transform coding of image feature descriptors. *Proc. SPIE, Visual Communications and Image Processing*. 2009; 7257.
- [144] Yun Q Shi, Huifang Sun. *Image and video compression for multimedia engineering. Fundamentals, Algorithms, and Standards*. Second ed. 2008.
- [145] Avanaki M, Ahmadinejad H, Ebrahimpour R. Evaluation of Pure Fractal and Wavelet Fractal Compression Techniques. *ICGST-GVIP Journal*. 2009; 9(4): 41-47.
- [146] Marco Cagnazzo. *JPEG et JPEG2000 : étude de cas*. TELECOM Paris Tech. 2010.
- [147] Ruchika, Mooninder Singh, Anant Raj Singh. Compression of Medical Images Using Wavelet Transforms. *International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE)*. 2012; 2(2).
- [148] I Daubechies. Orthonormal bases of compactly supported wavelets. *Communication on Pure and Applied Mathematics*. 1988; 41(7): 909-996.
- [149] Kaleka Jashanbir Singh, Sharma Reecha. Comparativ performance analysis of Haar, Symlets and Bior wavelets on image compression using Discrete wavelet Transform. *International journal of Computers and Distributed Systems*. 2012; 1(2).

- [150] GK Kharate, VH Patil, NL Bhale. Selection of mother wavelet for image compression on basis of nature of image. *Journal of multimedia*. 2007; 2(6).
- [151] MK Mandal, S Panchanathan, T Aboulnasr. Choice of wavelets for image compression. *Lecture note in computer science*. 1996; 1133: 239-249.
- [152] R Sakuldee, S Udomhunsakul. Objective Performance of Compressed Image Quality Assessments. *World Academy of Science, Engineering and Technology*. 2007; 1(11): 11-29.
- [153] Gerard Blanchet, Maurice Charbit. *Digital Signal and Image Processing using MATLAB*. ISTE Ltd. 2006.
- [154] M Beladgham, A Bessaid, A Moulay-Lakhdar, M Ben Aissa, A Bassou. MRI Image Compression using Biorthogonal CDF Wavelet Based on Lifting Scheme and SPIHT coding. *J. Sci. Res.* 2010; 2: 225-232.
- [155] David Austerberry. *The Technology of Video and Audio Streaming*. Second edition.
- [156] Majumda.A., Sachs D.G., Kozintsev V.I. , Ramchandran K., Yeung, M.M. "Multicast and Unicast Real-Time Streaming vidéo Over Wireless". Volume 12 Issue: 6 Intel Labs, Santa Clara, CA, USA
- [157] Sumon Kumar Debnath¹, Foez Ahmed , and Nayeema Islam. "Performance Evaluation of Unicast and Broadcast Mobile Ad-hoc Networks Routing Protocols". *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 7, No. 1, 2010
- [158] NAFA.M. Optimisation des applications de streaming peer to peer pour des réseaux ad hoc mobiles. *Doctoral thesis* 2009.
- [159] Benny Bing. *Next-Generation Video Coding and Streaming* first Edition.
- [160] BASHET.T, NAVARRET.B. Critères d'évaluation des formats de compression audio. *Report*
- [161] Setton, Eric, Girod, Bernd. *Peer-to-Peer Video Streaming*. 2007
- [162] Patrick SONDI OBWANG. *Le Routage à Qualité de Service dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc*. *Doctoral thesis* 2010
- [163] Stefano Basagni, Marco Conti, Silvia Giordano, Ivan Stojmenovi. *Mobile Ad Hoc Networking*. 2004
- [164] Yun Q .Shi and Huifang Sun "Image and video compression for multimedia engineering" *Fundamentals, Algorithms, and Standards- 2nd ed.* 2008.
- [165] WOOTTEN.C. *A practical guide to video and audio compression*, Ouvrage, Focal Press; edition (April 28, 2005).
- [166] Mrinal Kr. MandaI. *MULTIMEDIA SIGNALS AND SYSTEMS*. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS Boston / Dordrecht / London.
- [167] Pankaj N. Topiwala Sanders, A Lockheed Martin Company. *Wavelet Image and Video Compression*. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, NEW YORK, BOSTON, DORDRECHT, LONDON, MOSCOW.
- [168] Adarshpal S. Sethi Vasil Y. Hnatyshin. *The Practical OPNET® User Guide for Computer Network Simulation*. *International Standard Book Number-13: 978-1-4398-1206-8*.
- [169] H. Koumaras, C. Skianis, G. Gardikis and A. Kourtis. Analysis of H.264 video encoded traffic, in *Proceedings of the 5th International Network Conference (INC2005)* pp 441-448.
- [170] Daniel, A., Paul, A., Ahmad, A., & Rho, S. (2016). Cooperative intelligence of vehicles for intelligent transportation systems (ITS). *Wireless Personal Communications*, 87(2), 461-484.
- [171] ENNACIRI, Ansam, ERRITALI, Mohammed, MABROUKI, Mustapha, and al. Performance analysis of Streaming Video over Vehicular ad-hoc. In: *Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGiV)*, 2016 13th International Conference on. IEEE, 2016. p. 375-380.
- [172] WAHAB, Omar Abdel, OTROK, Hadi, and MOURAD, Azzam. VANET QoS-OLSR: QoS-based clustering protocol for Vehicular Ad hoc Networks. *Computer Communications*, 2013, vol. 36, no 13, p. 1422-1435.
- [173] ASH, Gerald R. *Traffic engineering and QoS optimization of integrated voice and data networks*. Morgan Kaufmann, 2006.
- [174] GEHRSTITZ, Thomas and KELLERER, Wolfgang. QoS and Robustness of Priority-Based MAC Protocols for the In-Car Power Line Communication. *Vehicular Communications*, 2017.

- [175] M.I. Kazantzidis, L.Wang, and M.Gerla. On fairness and efficiency of adaptive audio application layers for multihop wireless networks. In *Mobile Multimedia Communications, 1999. (MoMuC '99) 1999 IEEE International Workshop on*, pages 357–362, 15-17 Nov. 1999.
- [176] SHARMA, Pooja, KAUL, Ajay, and GARG, M. L. Performance analysis of video streaming applications over VANET. *International Journal of Computer Applications*, 2015, vol. 112, no 14.
- [177] PIAMRAT, Kandaraj, VIHO, Cesar, BONNIN, Jean-Marie, et al. Quality of experience measurements for video streaming over wireless networks. In: *Information Technology: New Generations, 2009. ITNG'09. Sixth International Conference on. IEEE, 2009. p. 1184-1189.*
- [178] J. Xin, C.-W. Lin, M.-T. Sun, "Digital Video Transcoding", *Proceedings of the IEEE*, Volume: 93, Issue: 1, On page(s): 84 - 97, Jan. 2005.
- [179] I. Ahmad, Xiaohui Wei, Yu Sun, Ya-Qin Zhang, "Video transcoding: an overview of various techniques and research issues", *IEEE Transactions on Multimedia*, Volume 7, Issue 5, Page(s):793 - 804, Oct. 2005.
- [180] Avramova, Z.; De Vleeschauwer, D.; Spaey, K.; Wittevrongel, S.; Bruneel, H.; Blondia, C., "Comparison of simulcast and scalable video coding in terms of the required capacity in an IPTV network", *Packet Video 2007*, Page(s):113 - 122, Nov. 2007.
- [181] Wien, M.; Cazoulat, R.; Graffunder, A.; Hutter, A.; Amon, P, "Real-Time System for Adaptive Video Streaming Based on SVC", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Volume 17, Issue 9, Page(s):1227 - 1237, Sept. 2007.
- [182] Zhe Wei, Canhui Cai, Kai-Kuang Ma, "A Novel H.264-based Multiple Description Video Coding Via Polyphase Transform and Partial Prediction", *International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications (ISPACS '06)*, Page(s):151 - 154, Dec. 2006.
- [183] D.Loguinov, H.Radha, "On retransmission schemes for real-time streaming in the Internet", *Proceedings In IEEE INFOCOM 2001, Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies*, Volume 3, Page(s):1310 - 1319, 2001
- [184] I.Bouazizi, M.Gunes, "Distortion-optimized FEC for unequal error protection in MPEG-4 video delivery", *Proc in Ninth International Symposium on Computers and Communications (ISCC 2004)*, Volume 2, Page(s): 615 - 620, June-July 2004.
- [185] Trista Pei-chun Chen, Tsuhan Chen, "Second-generation error concealment for video transport over error prone channels", *Proc in International Conference on Image Processing*, Volume: 1, on page(s): I-25- I-28, 2002.
- [186] Hasrouny, H., Samhat, A. E., Bassil, C., & Laouiti, A. (2017). VANET security challenges and solutions: A survey. *Vehicular Communications*, 7, 7–20.
- [187] Mageid, S. A. (2017). Connectivity based positioning system for underground vehicular ad hoc networks. *International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA)*, 4(1), 1–14.
- [188] M. Nekovee, "Epidemic algorithms for reliable and efficient information dissemination in vehicular," *Intelligent Transport Systems, IET*, vol. 3, p. 104–110, 2009.
- [189] Pubudu N. Pathirana. Node localization using mobile robots in delaytolerant sensor networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*,4(3) :285–296, 2005.
- [190] RAHEM, Abdalrazak Tareq, ISMAIL, Mahamod, ABDULLAH, Nor Fadzilah, et al. New mathematical model to find the shortest path based on Boolean algebra operations for networks. In: *Telecommunication Technologies (ISTT), 2016 IEEE 3rd International Symposium on. IEEE, 2016. p. 112-114.*
- [191] STEINBOCK, Chanania, BIHAM, Ofer, KATZAV, Eytan. Distribution of shortest path lengths in a class of node duplication network models. *Physical Review E*, 2017, vol. 96, no 3, p. 032301.
- [192] MAKARIYE, Neha. Towards shortest path computation using Dijkstra algorithm. In: *IoT and Application (ICIOT), 2017 International Conference on. IEEE, 2017. p. 1-3.*
- [193] BROUMI, Said, TALEA, Mohamed, BAKALI, Assia, et al. Application of Dijkstra algorithm for solving interval valued neutrosophic shortest path problem. In: *Computational Intelligence (SSCI), 2016 IEEE Symposium Series on. IEEE, 2016. p. 1-6.*
- [194] EIZA, Mahmoud Hashem et NI, Qiang. An evolving graph-based reliable routing scheme for VANET. *IEEE*

Transactions on Vehicular Technology, 2013, vol. 62, no 4, p. 1493-1504.

- [195] PATEL PRAGNESH, V. et BAXI, Ms Astha. Improved Graph-Based Reliable Routing Scheme for VANET. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2014, vol. 5, no 5.
- [196] Sven Bittner, Wolf-Ulrich Raffel, and Manuel Scholz. The Area Graph-Based Mobility Model and Its Impact on Data Dissemination. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, PERCOMW '05*, pages 268–272, 2005.
- [197] . GU, D., Zhang, J. (2003). QoS enhancement in IEEE 802.11 wireless area Networks, *IEEE Commmu Mag.*, Vol. 41, no. 6, pp. 120-124.
- [198] K. Golestan, A. Jundi, L. Nassar, F. Sattar, F. Karray, M. Kamel, et al., "Vehicular ad-hoc networks (VANET): capabilities, challenges in information gathering and data fusion," *Autonomous and Intelligent Systems*, ed: Springer, pp. 34-41, 2012.
- [199] M. R. J. Sattari, R. M. Noor, and S. Ghahremani, "Dynamic congestion control algorithm for vehicular ad hoc networks," *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, vol. 7, pp. 95-108, 2013.
- [200] Mohammed, N. H., El-Moafy, H. N., Abdel-Mageid, S. M., & Marie, M. I. Mobility management scheme based on smart buffering for vehicular networks. 4(2), 35–46 *International Journal of Computer Networks and Applications (IJCNA)*, (2017).
- [201] Hadded, M., Zagrouba, R., Laouiti, A., Muhlethaler, P., Saidane, L.A.: An optimal strategy for collision-free slots allocations in vehicular ad-hoc networks. In: Laouiti, A., Qayyum, A., Mohamad Saad, M.N. (eds.) *Vehicular Ad-hoc Networks for Smart Cities*. AISC, vol. 306, pp. 15–30. Springer, Singapore (2015).
- [202] Zhang, G. Multicast Capacity for VANET with Directional Antenna and Delay Constraint / G. Zhang, Y. Xu, X. Wang, X. Tian, J. Liu, X. Gan, H. Yu, L. Qian // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* (Volume: 30 , Issue: 4 , May 2012). -P. 818-833.
- [203] Caizzone, G. A Power Control Algorithm with High Channel Availability for Vehicular Ad Hoc Networks / G. Caizzone, P. Giacomazzi, L. Musumeci, G. Verticale // *IEEE International Conference on Communications*, 2005. ICC 2005. 2005, 2005 (Volume : 5). -P. 3171-3176.
- [204] Lei, G. Power Adjustment Based Congestion Control in Vehicular Ad-hoc Networks / G. Lei, F. Liu, P. Wang // *Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology (ICAIET)*, 2014 4th International Conference. 2014. – P. 280-285.
- [205] Rubio-Loyola, J. Towards Intelligent Tuning of Frequency and Transmission Power Adjustment in Beacon-based Ad-Hoc Networks / J. Rubio-Loyola, H. Galeana-Zapien, F. Aguirre-Gracia // *In Proceedings of the 4th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems - Volume 1*, Funchal, Madeira, Portugal. 2018. -P. 648-656.
- [206] Khan, M. I. Network Parameters Impact on Dynamic Transmission Power Control in Vehicular Ad hoc Networks / M. I. Khan // *International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN)* Vol.5, No.3, September 2013. –P. 1-22.
- [207] Sulisty, S. Distributed Channel and Power Level Selection in VANET Based on SINR using Game Model / S. Sulisty, S. Alam // *International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS)*. Vol. 9, No. 3, December 2017. – P. 432-438.
- [208] Li, X. Using Adaptive Range Control to Maximize 1-Hop Broadcast Coverage in Dense Wireless Networks / X. Li, T. Nguyen, R. Martin // *IEEE SECON*, Santa Clara, CA, Oct 2004. – P. 397-405.
- [209] Kwon, J.-H. Neighbor Mobility-Based Clustering Scheme for Vehicular Ad Hoc Networks. / J.-H. Kwon, C. Kwon, E.-J. Kim // *2015 International Conference on Platform Technology and Service*. 2015. - P. 31-32.
- [210] Najafzadeh, S. Broadcasting in Connected and Fragmented Vehicular Ad Hoc Networks. / S. Najafzadeh, N. B. Ithnin, S. A. Razak // *International Journal of Vehicular Technology*. Volume 2013, P. 249–258.
- [211] Yang, P. Clustering algorithm in VANET: A survey / P. Yang, J. Wang, Y. Zhang, Z. Tang, S. Song // *2015 IEEE 9th International Conference on Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID)*. Sept. 2015. -P. 166-170.
- [212] R. S. Hande, A. Muddana. Comprehensive survey on clustering-based efficient data dissemination algorithms for VANET / R. S. Hande, A. Muddana // *2016 International Conference on Signal Processing, Communication, Power and Embedded System (SCOPE)*. 2016. -P. 629-632.

- [213] Cooper, C. A Comparative Survey of VANET Clustering Techniques / C. Cooper, D. Franklin M. Ros, F. Safaei, M. Abolhasan // *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2017(Volume: 19, Issue: 1). -P. 657-681.
- [214] Nakorn, N. "POCA: position-aware reliable broadcasting in VANET" / N. Nakorn, K. Rojviboonchai // in *Proceedings of the Asia-Pacific Conference of Information Processing (APCIP '10)*, Nanchang, China, 2010. – P. 420–428.
- [215] Wisitpongphan, N. Broadcast Storm Mitigation Techniques in Vehicular Ad Hoc Networks / N. Wisitpongphan, O.K. Tonguz // *IEEE Wireless Communications*, Dec. 2007, Volume: 14 , Issue: 6. –P. 84 – 94.
- [216] Nakorn, N. N. DECA: density-aware reliable broadcasting in vehicular ad hoc networks / N. N. Nakorn, K. Rojviboonchai // in *Proceedings of the 7th Annual International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON*. 2010, -P. 598–602.
- [217] Tonguz, O. K. DV-CAST: a distributed vehicular broadcast protocol for vehicular ad hoc networks / O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan, F. Bai // *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 2. 2010. - P. 47–57.
- [218] Jiang, H. Chen Reliable and Efficient Alarm Message Routing in VANET / H. Jiang, H. Guo, L. Chen // 2008 The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. 2008. - P. 186-191.
- [219] Yang, Y.-T. Position-Based Adaptive Broadcast for Inter-Vehicle Communications / Y.-T. Yang, L.-D. Chou // *ICC Workshops - 2008 IEEE International Conference on Communications Workshops*. 2008. - P. 410-414.
- [220] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:611:ed-4:v1:fr 21>.
- [221] Pyykonen, P., Kauvo, K., Viitanen, J., Eloranta, P.: Vehicle ITS station for C2X communication. In: 2014 IEEE 10th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), pp. 211–214 (2014)
- [222] Miorandi, D., Altman, E.: Connectivity in one-dimensional ad hoc networks: a queueing theoretical approach. *Wireless Netw.* 12(5), 573–587 (2006).
- [223] Korkmaz, G., Ekici, E.: Urban multihop broadcast protocol for intervehicle communication systems. In: *ACM VANET 2004*, pp. 76–85, October 2004
- [224] Mutalik, P., Patil, V.C.: A survey on vehicular ad-hoc network [VANET's] protocols for improving safety in urban cities. In: 2017 International Conference On Smart Technologies For Smart Nation (SmartTechCon), pp. 840–845 (2017)
- [225] Bako, B., Weber, M.: Efficient information dissemination in VANETs, *InTech*, pp. 45–64 (2011).
- [226] Zhao, J., Cao, G.: VADD: vehicle-assisted data delivery in vehicular ad hoc networks. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 57(3), 1910–1922 (2008).
- [227] Behnad, A., Nader-Esfahani, S.: Probability of node to base station connectivity in onedimensional ad hoc networks. *IEEE Commun. Lett.* 14(7), 650–652 (2010).
- [228] Li, G.-S., Wang, W.-L., Yao, X.-W.: An adaptive and opportunistic broadcast protocol for vehicular ad hoc networks. *Int. J. Autom. Comput.* 9(4), 378–387 (2012).
- [229] Vavoulas, A., Harilaos, G., Sandalidis, H., Varoutas, D.: Node isolation probability for serial ultraviolet UV-C multi-hop networks. *J. Opt. Commun. Netw.* 3(9), 750–757 (2011).