

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique
Université A. Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme de Master Professionnel en
Informatique
Option : Administration et Sécurité des Réseaux

Thème

Amélioration de la Communication dans les Systèmes de
Transport Intelligents

Réalisé par

M^{lle} SADI Manal

M^{lle} SMAIL Milane

Devant le jury composé de

Présidente :	M ^{me} B.GASMI	M.C.B	Université de Béjaïa
Examinatrice :	M ^{me} S.CHABANE	M.C.B	Université de Béjaïa
Encadrant :	M ^r S.AISSANI	M.C.A	Université de Béjaïa
Co-Encadrante :	M ^{me} T.CHENACHE	Doctorante	Université de Béjaïa
Invitée :	M ^{me} K.ZIZI	Doctorante	Université de Béjaïa

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre Encadrant : **M^r AISSANI Sofiane** pour ses précieux conseils, sa patience et son précieux suivi tout au long de la réalisation de ce travail. Nous le remercions pour la haute qualité de son encadrement déterminant dans toutes les phases de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à notre co-encadrante **M^{me} CHENACHE Tinhinane**, pour sa gentillesse, sa disponibilité et sa patience apporté pour l'accomplissement de ce travail et surtout pour sa grande aide.

Nos remerciements s'étendent aux **membres du jury** pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nos vifs remerciements vont également à tous nos enseignants du département d'Informatique de l'Université Abderrahmane Mira de Béjaïa

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents, je souhaite exprimer toute ma gratitude et mon amour. Vous êtes ma fierté, mes piliers et mes sources d'inspiration. Votre amour inconditionnel et votre soutien constant ont illuminé chaque étape de ma vie. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait et continuez de faire pour moi. Je vous aime profondément.

À mes chers frères et sœurs, chaque jour passé avec vous est un cadeau précieux. Votre présence réconfortante et votre soutien ont été indispensables tout au long de mes études. Nos moments de complicité et votre écoute bienveillante m'ont apporté un soutien inestimable. Merci d'être toujours à mes côtés.

À ma chère grand-mère et à la mémoire de **mon cher grand-père**, que son âme repose en paix.

À tous mes amis (es).

À toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment .

À ma chère binôme Milane.

M^{lle} S.Manal

Dédicaces

Je dédie ce mémoire

À mes chers parents que nulle dédicace ne puisse exprimer mes sincères sentiments et mon éternelle gratitude, pour leur patience illimitée, leurs encouragements continus, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

À ma chère grand-mère et à la mémoire de **mon cher grand-père**, que son âme repose en paix.

À mon frère : Fateh .

À mes sœurs : Tinhinane, Nadine, Yasmine.

À mes cousines : Sarah, Chana, Lina, Mina , Lynda .

À mes amies et amis exceptionnellement.

À toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment .

A ma précieuse binôme Manal.

M^{lle} S.Milane

Table des matières

Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des abréviations	v
Introduction générale	1
1 Généralités	3
1.1 Introduction	3
1.2 Système de transport intelligent (STIs)	3
1.2.1 Définition des STIs	3
1.2.2 Services des Systèmes de Transport Intelligents	3
1.2.3 Objectifs des systèmes de transport intelligents	5
1.3 Réseaux sans fil	6
1.4 Réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs)	6
1.4.1 Caractéristiques des VANETs	6
1.4.2 Composants des VANETs	7
1.4.3 Défis des réseaux véhiculaires	9
1.4.4 Modes de communications	9
1.4.5 Stratégies de transmission	11
1.5 Normes et standardisations dans les réseaux VANETs	11
1.5.1 DSRC(Dedicated Short Range Communications)	11
1.5.2 La norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)	12
1.5.3 La norme IEEE 802.11p	13
1.5.4 La famille des standards IEEE 1609	13
1.6 Méthodes de modélisation formelles	13
1.6.1 Algèbre de processus	14
1.7 Conclusion	17
2 État de l’art sur les types de messages dans les VANETs	18
2.1 Introduction	18
2.2 Problématique	18
2.3 Classification des travaux passés en revue	19
2.4 Analyse des travaux connexes	20
2.4.1 Approches basées sur le type des messages sécuritaires	20
2.4.2 Approches basées sur le type des messages non sécuritaires	22
2.4.3 Approches hybride	24
2.5 Étude comparative	25

2.5.1	Critères de comparaison	25
2.5.2	Tableau Comparatif	27
2.5.3	Discussion	28
2.6	Conclusion	29
3	Gestion et priorisation des messages pour une communication optimale dans les STI	30
3.1	Introduction	30
3.2	Motivation	30
3.3	Notre proposition	32
3.3.1	Présentation des formats de messages	32
3.3.2	Hierarchisation des files d'attente	34
3.3.3	Priorisation des messages pour une gestion optimal	35
3.3.4	Stratégie de diffusion des messages	36
3.4	Phase de modélisation	36
3.4.1	Processus spécifiant les actions	37
3.4.2	Présentation des processus	37
3.4.3	Priorisation des Actions dans l'Algèbre de Processus	39
3.5	Schéma de Traitement des Messages	39
3.6	Priority-driven Secure Message Classification Algorithm	42
3.7	Conclusion	43
4	Simulation et évaluation des performances	44
4.1	Introduction	44
4.2	Métriques considérées	44
4.3	Environnement de simulation	45
4.4	Évaluation de performances et discussions	46
4.4.1	Évaluation du Temps d'Exécution	46
4.4.2	Taux de messages livrés	47
4.4.3	Taux de messages non classés	48
4.4.4	Débit	48
4.4.5	Comparaison des performances moyennes	49
4.5	Conclusion	50
	Conclusion générale	51
	Bibliographie	52

Table des figures

1.1	Systèmes de Transport Intelligents	4
1.2	Principe de fonctionnement des STI.	5
1.3	Hierarchie des réseaux sans fil.	6
1.4	Composants d'un réseau véhiculaire	8
1.5	Mode de communication V2V.	10
1.6	Mode de communication V2I.	10
1.7	Mode de communications hybride.	11
1.8	Le modèle WAVE/DSRC.	12
2.1	Classification des travaux passés en revue	19
3.1	Problème de surcharge dans un réseaux VANET.	31
3.2	Format des messages liés à la sécurité.	32
3.3	Format des messages non liés à la sécurité.	33
3.4	files d'attentes.	34
3.5	Schéma de traitement des messages.	41
4.1	Comparaison des taux de livraison de messages (PDR) entre les algorithmes PSMCA et Ismail.	47
4.2	Comparaison des messages non classés entre les Algorithmes PSMCA et Ismail	48
4.3	Débit.	49

Liste des tableaux

1.1	Les de axiomes BPA.	15
1.2	Table de vérité de OU logique	17
1.3	Table de vérité de ET logique	17
2.1	Comparaison des articles.	28
3.1	Tableau des champs avec définition et justification du nombre de bits. . .	33
3.2	Tableau des champs avec définition et justification du nombre de bits. . .	34
3.3	Priorisation des Messages.	36
3.4	Paramètres et leurs Descriptions.	38
3.5	Signification des paramètres.	39
4.1	Temps d'exécution en fonction du nombre de messages.	46
4.2	Comparaison des performances (valeurs moyennes).	49

Liste des abréviations

BPA	Basic Process Algebra
BSM	Basic Safety Messages
CCH	Common Control Channel
CBPA	Communicating Basic Process Algebra
CCS	Calculus of Communicating Systems
CMHELLO	Messages de contrôle HELLO
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CSP	Communicating Sequential Processes
DAB	Digital Audio Broadcasting
DMB	Digital Multimedia Broadcasting
DRU	Dispositifs de Référence d'Utilisateur
DSM	Module de planification dynamique
DSRC	Dedicated Short Range Communications
DVB-H	Digital Video Broadcasting - Handheld
DVBT	Digital Video Broadcasting - Terrestrial
ECORA	Algorithme de réduction de la surcharge des messages de contrôle dans les VANET
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access
EDR	Event Data Recorder
FCC	Federal Communications Commission
FCFS	First-Come, First-Served
GPS	Global Positioning System
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IHM	Interface Homme-Machine
LACC	Contrôle de congestion adaptatif linéaire
LLC	Logical Link Control
LOTOS	Language Of Temporal Ordering Specification
RL	Reinforcement learning
MAC	Medium Access Control
MANETs	Mobile Ad Hoc Networks
MEP	Protocole d'échange de messages

ML	Machine Learning
OAddP	Protocole de dissémination de données adaptatif idéal
OBU	On-Board Unit
PDR	taux de livraison des paquet
RDS	Radio Data System
RSU	Road Side Units
SCH	Service Channel
STI	Système de Transport Intelligent
TA	Trusted Authority
TCMV	Mécanisme de gestion de la confiance
V2I	Vehicle-to-Infrastructure
V2V	Vehicle-to-Vehicle
VANETs	Vehicular Ad Hoc Networks
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments
WSM	Wave Short Message
WSMP	Wave Short Message Protocol

Introduction générale

Les systèmes de transport intelligents (STI) jouent un rôle essentiel dans l'amélioration de la sécurité et de l'efficacité des réseaux de transport modernes. Ces systèmes utilisent des technologies avancées pour optimiser la gestion du trafic, réduire les accidents et améliorer l'expérience des usagers de la route. Au cœur du fonctionnement efficace des réseaux de véhicules ad hoc (VANET) se trouve la capacité à gérer de manière optimale les communications entre les différents éléments du réseau, notamment en priorisant les messages échangés. Cette gestion des communications devient primordiale dans des environnements hautement dynamiques et en constante évolution, où la rapidité et la fiabilité des informations transmises peuvent faire la différence entre la sécurité et le risque pour les usagers de la route.

Notre étude se concentre particulièrement sur l'évaluation de notre approche pour les VANETs en se focalisant sur les performances en situation de surcharge du réseau. Nous avons développé un environnement de simulation sophistiqué reproduisant fidèlement les échanges d'informations entre les véhicules et les RSU (Road Side Units) en prenant en compte des données telles que l'identification du véhicule, sa vitesse, sa localisation en temps réel, ainsi que d'autres variables pertinentes pour la sécurité routière. De plus, notre proposition se base sur la priorisation des messages afin d'optimiser et de réduire la surcharge du réseau. En attribuant des niveaux de priorité différents aux messages en fonction de leur importance et de leur urgence, notre approche permet de garantir que les informations critiques pour la sécurité sont transmises en premier, tout en minimisant l'encombrement du réseau pour les messages moins urgents.

Le premier chapitre expose les notions théoriques indispensables à la compréhension de notre recherche. Il couvre les bases des systèmes de transport intelligents, la structure et le fonctionnement des VANETs, ainsi que les concepts clés liés à la communication et à la gestion des informations dans ces réseaux. Ce chapitre sert de fondation théorique fournissant aux lecteurs les connaissances nécessaires pour appréhender les développements et les analyses présentés dans les chapitres suivants.

Le deuxième chapitre offre une revue exhaustive de l'état de l'art en matière de messages échangés dans les VANETs. Il présente les principales méthodes utilisées pour la communication inter-véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure ainsi que les avancées récentes dans ce domaine.

Dans le troisième chapitre nous décrivons la mise en œuvre de notre proposition pour optimiser la gestion des messages dans les réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs). Nous classifions les messages en sécurité et non liés à la sécurité avec une subdivision des premiers en messages réactifs et proactifs. Notre approche inclut un algorithme spécifique " Priority-driven Secure Message Classification Algorithm " pour prioriser les messages

en fonction de critères comme l'urgence et la criticité. En outre, nous détaillons une stratégie de diffusion utilisant des canaux spécifiques pour assurer une communication efficace. Cette mise en œuvre vise à renforcer la sécurité et l'efficacité des systèmes de transport intelligents en adaptant la gestion des communications aux environnements dynamiques des VANETs.

Le quatrième et dernier chapitre est dédié à l'évaluation de notre approche à travers des simulations. Nous avons développé un environnement de simulation avancé capable de reproduire fidèlement les échanges d'informations entre les véhicules et l'RSU en tenant compte de multiples variables importantes pour la sécurité routière. Ce chapitre expose les résultats obtenus lors de nos simulations, évalue les performances de notre approche face à des conditions de surcharge réseau et compare son efficacité à celle d'une méthode actuellement disponible.

Enfin, nous terminons ce mémoire par une conclusion générale qui résume le travail accompli et ouvre des perspectives intéressantes qui méritent d'être explorées.

Chapitre 1

Généralités

1.1 Introduction

Les Systèmes de Transport Intelligents (STI) jouent un rôle important en intégrant les technologies de communication et d'information dans les infrastructures de transport. Ces systèmes visent à améliorer l'efficacité, la sécurité et la durabilité des réseaux de transport en utilisant des solutions innovantes basées sur les communications réseau.

Dans ce chapitre, nous allons explorer les systèmes de transport intelligents nous aborderons également les réseaux sans fil en mettant en lumière l'importance des réseaux véhiculaires (VANETs) pour la communication entre véhicules et les infrastructures routières. De plus, nous explorerons les normes et la standardisation dans les réseaux VANETs ainsi que l'algèbre de processus qui joue un rôle clé dans la modélisation et l'analyse des systèmes distribués.

1.2 Système de transport intelligent (STIs)

1.2.1 Définition des STIs

Le domaine de la recherche sur les systèmes de transport intelligents (STI) est en plein essor et combine divers domaines tels que les réseaux de capteurs, l'apprentissage automatique (ML), le génie civil du transport et bien d'autres encore. En réalité, il s'agit de la fusion de différents domaines de recherche qui se concentrent particulièrement sur le problème de la sécurité routière. Les systèmes de transport intelligents (STI) montrés dans la figure 1.1 sont développés et mis en place pour résoudre des problèmes de circulation tels que la gestion du trafic, la prévention des accidents, la tarification des routes, les systèmes de stationnement et le contrôle de la pollution [1].

1.2.2 Services des Systèmes de Transport Intelligents

Les services des Systèmes de Transport Intelligents (STI) contribuent de manière significative à l'amélioration de l'efficacité, de la sécurité et de la durabilité des réseaux de transport. Voici quelques-uns des services pertinents [2] :

- **Adaptation intelligente de la vitesse** : Régulation automatique de la vitesse des véhicules en fonction des conditions de circulation et des limitations de vitesse en vigueur.
- **Surveillance des conditions météorologiques et de l'état des routes** : Collecte et diffusion en temps réel des informations sur les conditions météorologiques et l'état des routes, permettant aux conducteurs d'adapter leur conduite en conséquence.
- **Systèmes de détection d'incidents et d'alerte de collision** : Détection rapide des accidents et des situations dangereuses, avec alerte instantanée des conducteurs pour éviter les collisions et minimiser les conséquences des accidents.
- **Systèmes de surveillance des conducteurs** : Surveillance de l'état de vigilance des conducteurs et détection des comportements dangereux, avec des alertes pour prévenir les accidents dus à la fatigue ou à l'inattention.
- **Contrôle des limitations de vitesse et des feux de circulation** : Optimisation des cycles des feux de signalisation et contrôle dynamique des limitations de vitesse pour fluidifier le trafic et réduire les embouteillages.
- **Systèmes d'amélioration de la vision pour les conducteurs** : Technologies telles que les caméras de vision nocturne et les affichages tête haute pour améliorer la visibilité et la sécurité des conducteurs dans des conditions difficiles.



FIGURE 1.1 – Systèmes de Transport Intelligents [2].

1.2.3 Objectifs des systèmes de transport intelligents

Les Systèmes de Transport Intelligents visent à améliorer divers aspects des réseaux de transport grâce à l'utilisation de technologies avancées. Les principaux objectifs des STI sont les suivants [1] :

- Développement d'un système de transport avancé pour gérer efficacement le volume élevé de véhicules.
- Optimisation de la circulation pour réduire les embouteillages et les temps d'attente.
- Fourniture de données en temps réel sur les conditions routières, météorologiques et de trafic pour prévenir les accidents.
- Amélioration des services liés à la congestion et à la gestion du trafic pour une conduite améliorée.
- Implémentation de systèmes de sécurité intégrés pour prévenir les accidents et alerter les conducteurs.
- Optimisation de l'utilisation des réseaux de transport pour une fluidité et une efficacité accrues.

1.2.3.1 Principe de fonctionnement

Les Systèmes de Transport Intelligents fournissent une variété de fonctionnalités de soutien aux utilisateurs, allant des alertes d'information basiques aux systèmes de contrôle extrêmement avancés. En principe, ces services de STI peuvent être assimilés à une chaîne d'information, comme illustré dans la figure 1.2. Cette série de tâches englobe l'acquisition de données, les communications, le traitement de données, la diffusion de l'information, l'utilisation de l'information et les facteurs externes [2].

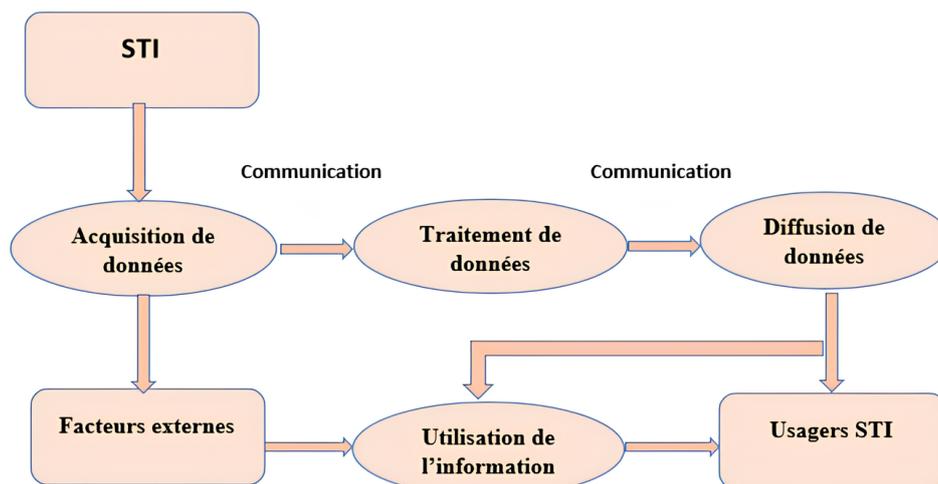


FIGURE 1.2 – Principe de fonctionnement des STI.

1.3 Réseaux sans fil

Les réseaux sans fil peuvent être divisés en deux catégories principales : les réseaux de télécommunications et les réseaux d'informatique . Toutefois, la fusion de ces deux secteurs rend plus pertinente une classification fondée sur des critères plus transversaux. En prenant en compte la configuration opérationnelle des réseaux sans fil comme un élément distinctif, on peut les répartir en trois grandes catégories d'architectures : les réseaux à infrastructure, les réseaux ad-hoc et les réseaux hybrides. Dans les réseaux à infrastructure, les terminaux doivent communiquer à travers un nœud fixe relié au réseau filaire. Grâce aux réseaux ad-hoc, les terminaux peuvent interagir directement entre eux ou indirectement avec d'autres terminaux. Les réseaux hybrides rassemblent les deux familles d'architectures principales [3].

1.4 Réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs)

Les VANETs sont une catégorie distincte des réseaux mobiles ad hoc (MANETs), comme le montre la figure 1.3, qui comprend un ensemble de véhicules et d'unités de bords de route (RSU) communiquant entre eux. Pour connecter un VANET, il est crucial de choisir une technologie adaptée à ses caractéristiques, afin de trouver un équilibre entre performances, coût et taux de pénétration technologique. Les technologies les plus couramment utilisées incluent les télécommunications , les radiodiffusions numériques , ainsi que les réseaux informatiques [4].



FIGURE 1.3 – Hiérarchie des réseaux sans fil.

1.4.1 Caractéristiques des VANETs

Les VANETs se distinguent des autres réseaux sans fil par quatre caractéristiques importantes telles que :

- **Mobilité des véhicules** : Le paramètre clé qui différencie les réseaux VANET des autres réseaux Ad Hoc est la mobilité des véhicules. Le déplacement fréquent des nœuds dans les VANETs entraîne une topologie très dynamique. Les relations de communication entre les nœuds du réseau sont fragilisées par cette dynamique qui est constante [5].
- **Mémoire et énergie** : La limitation de la consommation d'énergie est souvent un défi majeur dans les réseaux de capteurs sans fil. Toutefois, dans les réseaux

de transport en commun, cette contrainte est considérablement réduite grâce aux batteries intégrées dans les véhicules. Par conséquent, contrairement aux réseaux sans fil de capteurs, la consommation d'énergie n'est pas un problème majeur dans les réseaux véhiculaires [5].

- **Nécessité de garantir un haut niveau de performances** : Étant donné la situation d'urgence parfois associée aux paquets de données circulant dans un réseau VANET (alertes d'accidents ou d'événements dangereux) il est essentiel de garantir un niveau minimum de performances en termes de délais et de perte de paquets [6].
- **Environnement de communication** : Les réseaux de communication VANET sont déployés dans divers environnements notamment le long des routes automobiles ce qui entraîne une grande variété de milieux de communication. Les VANETs peuvent ainsi passer d'un environnement autoroutier ouvert caractérisé par des vitesses élevées et peu d'obstacles, à des scénarios urbains beaucoup plus denses avec de nombreux obstacles [6].

1.4.2 Composants des VANETs

Un réseau VANET est principalement constitué de trois entités qui interagissent : les véhicules équipés de dispositifs embarqués (OBU), les infrastructures routières telles que les RSU installées le long des routes, et la Trusted Authority (TA), comme illustré dans la figure 1.4 qui est chargée de gérer le réseau et de fournir des certificats et des pseudonymes.

1.4.2.1 TA (Trusted Authority)

L'autorité de confiance peut être constituée d'un serveur spécialisé dans les transactions ou le stockage. Elle a pour principale mission d'administrer et de gérer toutes les entités présentes dans le réseau que ce soit les unités embarquées (OBU) ou les stations routières (RSU). En outre, il incombe à cette entité de fournir et de donner les certificats numériques ainsi que les pseudonymes de communication aux déplacements [7].

1.4.2.2 RSU (Road Side Units)

Les RSU (Road Side Units) sont des entités qui sont sous la supervision de l'Autorité de Confiance (TA). En général, elles sont disposées le long des routes. Leur principal objectif est de transmettre des messages aux véhicules situés dans leurs zones de couverture radio. Ces messages peuvent contenir diverses informations [8].

1. Caractéristiques des RSU

Les RSU (Road Side Units) sont équipées de plusieurs caractéristiques essentielles qui améliorent la connectivité et l'efficacité du réseau, notamment [9] :

- Supervision par l'Autorité de Confiance.
- Positionnées stratégiquement le long des routes pour communiquer avec les véhicules équipés d'unités embarquées (OBU) dans leur zone de couverture.
- Utilisation de technologies telles que le Wi-Fi (IEEE 802.11) et les réseaux cellulaires pour les communications véhicule-infrastructure.

2. Fonctions des RSU

Parmi les fonctions importantes des RSU (Road Side Units) qui améliorent la connectivité et la gestion du trafic, on trouve [9] :

- Transmettent des informations essentielles aux véhicules comme l'état du trafic et les avertissements de sécurité.
- Fournissent des données en temps réel nécessaires à la navigation sécurisée des véhicules autonomes.
- Collectent des données sur le trafic pour améliorer la gestion des infrastructures routières et la sécurité globale.

1.4.2.3 OBU (On Board Unit)

Le dispositif On Board Unit (OBU), aussi connu sous le nom d'Unité Embarquée, est intégré à bord des véhicules intelligents [8]. Il est constitué des éléments suivants :

- Un enregistreur de données (EDR : Recorder d'événements) est employé afin de sauvegarder des paramètres essentiels tels que la vitesse, l'accélération ou des événements importants tels que les accidents.
- Un radar avant et arrière est utilisé pour repérer les obstacles.
- Un système de localisation (GPS) est utilisé afin de repérer et identifier la position du véhicule.
- Une plateforme de traitement est nécessaire pour gérer les informations provenant de divers éléments utilisés.
- Le conducteur et le système embarqué peuvent interagir grâce à une interface homme-machine (IHM).

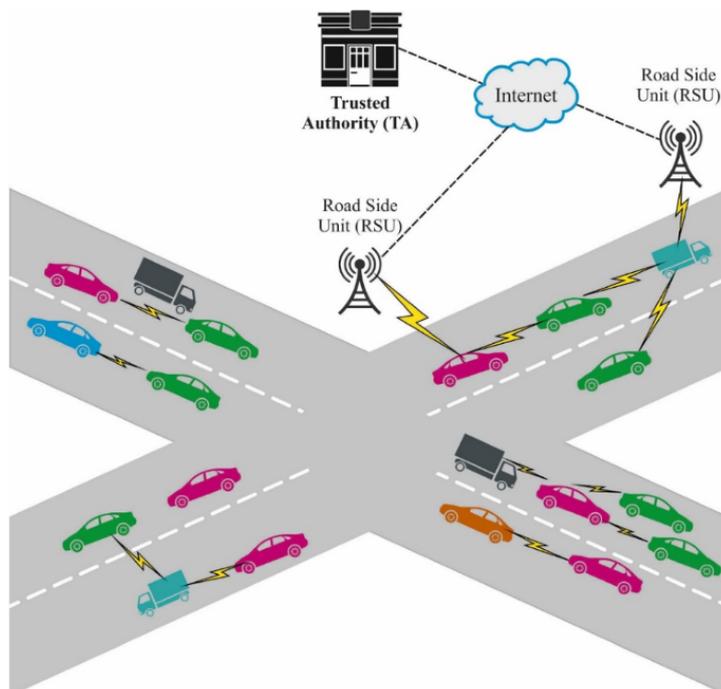


FIGURE 1.4 – Composants d'un réseau véhiculaire .
[8].

1.4.3 Défis des réseaux véhiculaires

Les réseaux véhiculaires ad hoc présentent plusieurs défis découlant de leurs caractéristiques particulières :

- **Sécurité** : La sécurité dans les réseaux véhiculaires est primordiale car elle impacte directement la sécurité des personnes. Il est essentiel que les informations critiques ne puissent pas être altérées ou supprimées par des attaquants . La protection des communications entre les véhicules ainsi que des informations sur les véhicules et leurs conducteurs est cruciale pour assurer le bon fonctionnement des systèmes de transport intelligents [10].
- **Qualité de service** : La qualité de service dépend largement de l'application supportée. Parmi les contraintes importantes dans les applications des VANETs, on trouve la latence, où les messages doivent être livrés rapidement , et la nécessité d'une connectivité continue pour des applications telles que le transfert de fichiers [10].
- **Canal radio fiable** : Les mécanismes de gestion du canal radio doivent assurer des transmissions robustes et fiables ainsi qu'une utilisation équitable du spectre de communication. Dans les réseaux véhiculaires, il est crucial de développer des méthodes pour gérer les interférences inter-symboles dues aux multi-trajets et l'effet Doppler causé par le mouvement des véhicules [10].
- **Routage** : Pour permettre la communication entre véhicules lorsque la transmission directe n'est pas possible, un protocole de routage efficace est indispensable. Les protocoles de routage doivent surmonter des défis tels que la connectivité intermittente, qui rend obsolètes les routes préétablies, et le partitionnement du réseau qui entrave la propagation des paquets [10].

1.4.4 Modes de communications

Les modes de communication dans les réseaux VANET sont essentiels pour permettre aux véhicules de communiquer entre eux et avec les infrastructures environnantes. Ces modes facilitent l'échange d'informations critiques pour améliorer la sécurité routière, optimiser la gestion du trafic et fournir divers services aux conducteurs. Il existe trois principaux modes de communication dans les réseaux VANET : Véhicule-à-Véhicule (V2V), Véhicule-à-Infrastructure (V2I) et les communications hybrides.

1. Mode de communication inter-véhicule (V2V)

Le mode de communication (V2V) montré dans la figure 1.5 Aucune infrastructure fixe n'est requise le long des routes dans l'architecture de communication entre véhicules (V2V). Il s'agit uniquement d'une communication directe entre les véhicules que ce soit en un seul saut ou en plusieurs sauts. Bien que certains équipements RSU (Road side Units) puissent être affectés par des pannes ou être éloignés le réseau continue de fonctionner [11]. Si chaque OBU (On-Board Unit) se trouve dans sa zone de couverture radio il communique directement avec un autre. Alternative-ment, la communication est assurée à travers un protocole multi-saut en utilisant les nœuds voisins comme points de relais [12] .



FIGURE 1.5 – Mode de communication V2V.

2. Mode de communication véhicule-infrastructures (V2I)

Le mode de communication V2I nous permet une utilisation plus efficace des ressources partagées et élargit la gamme des services offerts comme illustré dans la figure 1.6. Par exemple, il offre la possibilité d'accéder à Internet, de partager des informations entre le véhicule et la maison, ainsi que de communiquer entre le véhicule et le garage de réparation pour effectuer un diagnostic à distance entre autres [11]. Ce mode est caractérisé par la présence de points d'accès RSU (Road Side Units) le long des routes mais il est peu adapté aux applications liées à la sécurité routière en raison de performances insuffisantes en termes de latence de transmission [12].

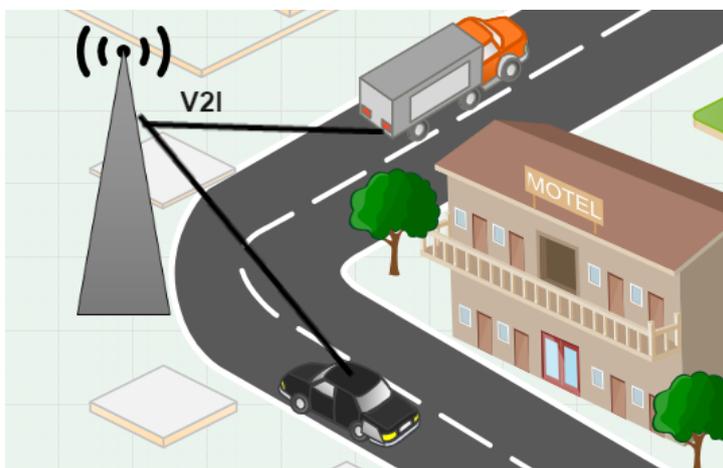


FIGURE 1.6 – Mode de communication V2I.

3. Mode de communication hybride

Le mode de communication hybride combine les échanges entre véhicules et infrastructures illustrer dans la figure 1.7. L'utilisation des véhicules comme relais permet d'élargir la portée des infrastructures (comme les stations de base) [12]. Cela permet d'éviter d'avoir plusieurs stations de base à chaque coin de rue. Une communication hybride particulièrement fascinante et rentable est produite grâce à cette méthode [11].

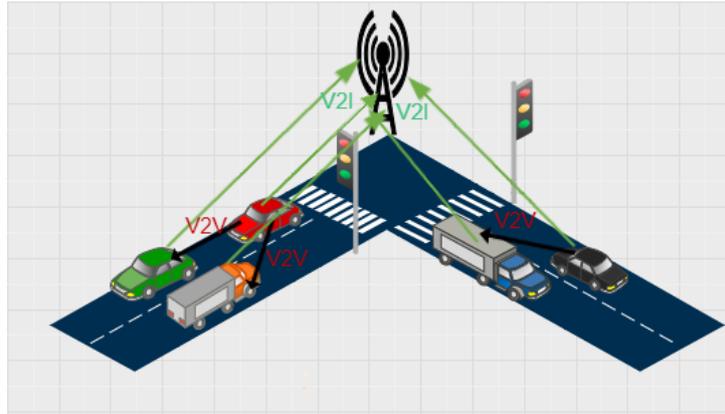


FIGURE 1.7 – Mode de communications hybride.

1.4.5 Stratégies de transmission

On utilise différentes stratégies de transmission de paquets dans les réseaux véhiculaires (VANETs), telles que l'Unicast, le Broadcast et le Multicast. Néanmoins, en raison de la nature des messages transmis, tels que les informations ou les avertissements destinés à des groupes de nœuds, le Broadcast et l'Unicast sont les moyens de transmission les plus fréquemment utilisés [13].

- **La transmission par Unicast :** Dans ce type de transmission, le paquet se déplace d'un nœud de départ vers un seul nœud de destination, en passant par d'éventuels nœuds intermédiaires qui agissent comme des relais. L'Unicast est couramment employé dans les réseaux Ad Hoc , cependant il existe de nombreuses propositions d'adaptation pour les VANETs dans la littérature [13].
- **La transmission par Broadcast :** Cette méthode permet aux paquets de circuler afin d'atteindre tous les nœuds sélectionnés. On l'utilise fréquemment dans tous les types de réseaux, y compris les réseaux véhiculaires. La possibilité d'envoyer un paquet à plusieurs nœuds du réseau augmente la probabilité que celui-ci arrive à destination [13].

1.5 Normes et standardisations dans les réseaux VANETs

1.5.1 DSRC(Dedicated Short Range Communications)

Les OBUs (On Board Units) et les RSUs communiquent à l'aide d'une technologie sans fil émergente appelée DSRC .La Federal Communications Commission (FCC) des États-Unis a réservé 75 MHz de spectre sous licence dans la bande de fréquences de 5,850 à 5,925 GHz spécifiquement pour la communication automobile comme le souligne le terme "Dedicated".

La portée de communication est limitée à quelques centaines de mètres, ce qui correspond aux distances typiques entre les véhicules sur la route. La réduction des accidents de la route est la principale raison de l'adoption de DSRC. La bande de fréquence DSRC est divisée en six canaux de service (SCHs) et un canal de contrôle (CCH) [14].

- **Canal de contrôle commun (CCH)** : Le canal de contrôle commun (CCH) sert à transmettre les messages de sécurité et les annonces de services WAVE. Ce canal est écouté par tous les véhicules de la zone d'intérêt pendant une période spécifique, généralement pendant la partie CCH d'un intervalle SYNC (synchronisation). Les véhicules peuvent échanger des messages de sécurité et des annonces de services pendant cette période.
- **Canal de service (SCH)** : Ce canal est utilisé pour transmettre le trafic produit par des applications véhiculaires non liées à la sécurité telles que le streaming vidéo, le transfert de fichiers etc. Les véhicules peuvent être réglés sur n'importe lequel des canaux de service pendant la partie SCH d'un intervalle SYNC pour participer à un service spécifique ou rester sur le canal de contrôle [15] .

1.5.2 La norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

La norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) constitue une architecture essentielle définissant les règles et protocoles de communication sans fil spécifiquement conçus pour les véhicules comme illustrer dans la figure 1.8. Elle offre un cadre standardisé pour permettre une connectivité fiable et efficace dans les environnements complexes des réseaux véhiculaires modernes. Cette norme inclut deux principaux modes de communication : le mode véhicule-à-véhicule (V2V) et le mode véhicule-à-infrastructure (V2I) [10].

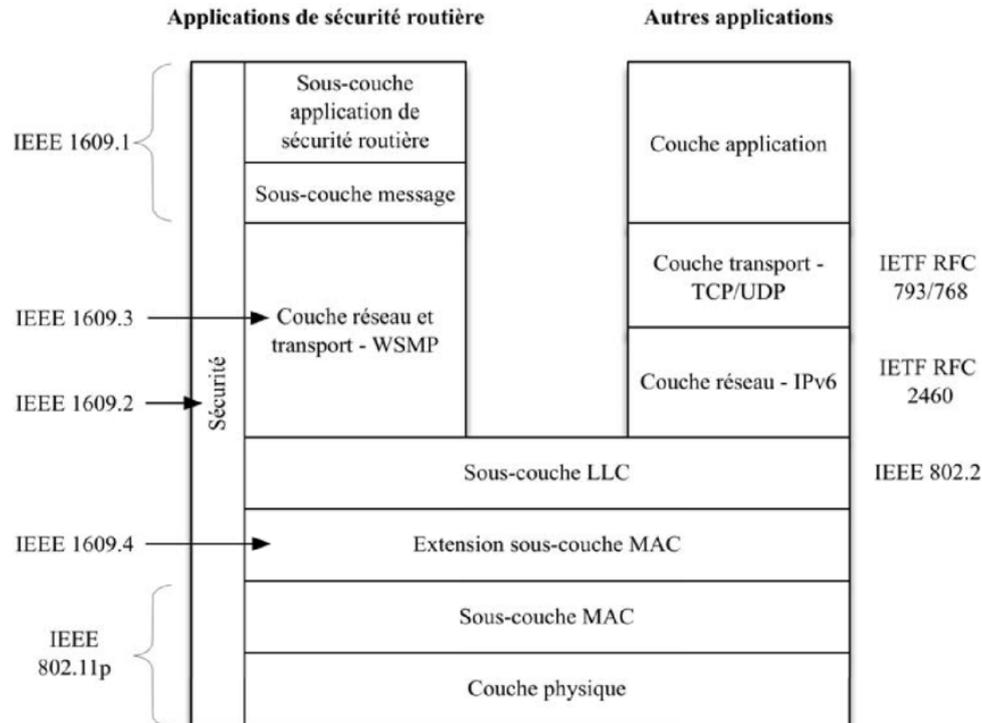


FIGURE 1.8 – Le modèle WAVE/DSRC.
[15]

1.5.3 La norme IEEE 802.11p

IEEE 802.11p est une norme de réseau sans fil appartenant à la famille IEEE 802.11x et disponible sous la forme de réseau Wi-Fi. Elle détermine des fonctionnalités spécifiques aux réseaux VANET [16].

1.5.4 La famille des standards IEEE 1609

La norme IEEE 1609 englobe quatre standards spécifiquement élaborés pour les réseaux sans fil utilisés dans le contexte des véhicules

- **IEEE 1609.1** : Norme qui définit le format de message et le mode de stockage des données, ainsi qu'un gestionnaire de ressources pour la communication entre les applications et les véhicules dans les réseaux VANET [16].
- **IEEE 1609.2** : La norme IEEE 1609.2 définit les services de sécurité des applications, ainsi que les règles d'échange de messages, la gestion et le format. Elle satisfait aux normes de sécurité du réseau VANET en matière de confidentialité, d'intégrité et d'authenticité [16].
- **IEEE 1609.3** : IEEE 1609.3 est une norme qui couvre les couches de services de transport et de réseaux, y compris l'adressage et le routage, ainsi que la définition des protocoles d'échange WSM (Wave Short Message Protocol) et WSMP (Wave Short Message Protocol) [16].
- **IEEE 1609.4** : La norme IEEE 1609.4 définit les opérations multi-canaux en utilisant le mécanisme EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) de la sous-couche MAC (Medium Access Control), basé sur le mécanisme CSMA/CA utilisé dans les réseaux informatiques [16].

1.6 Méthodes de modélisation formelles

Pour améliorer la communication et gérer la surcharge des messages dans les Unités de Bord de Route (RSU) dans les systèmes véhiculaires plusieurs méthodes de modélisation formelles ont été proposées et utilisées dans la littérature. Parmi elles nous pouvons citer :

- **Modèles basés sur les automates** : Les automates sont des modèles fondamentaux en informatique pour représenter et analyser le comportement des systèmes dynamiques. Ils se composent d'un ensemble d'états et de transitions entre ces états déclenchées par des entrées. Les automates finis sont les modèles les plus simples, permettant de reconnaître les langages réguliers. Des variantes plus puissantes comme les automates à pile ou les machines de Turing peuvent reconnaître des langages de complexité croissante [17].
- **Réseaux de Petri** : Les réseaux de Petri sont des modèles graphiques utilisés pour représenter et analyser les systèmes à événements discrets. Ils sont composés de deux types de nœuds principaux : les places, qui représentent des états du système, et les transitions qui représentent les événements pouvant modifier l'état du système. Les arcs dirigés relient les places aux transitions et vice-versa et ils définissent les conditions préalables à l'activation des transitions. Les réseaux de Petri permettent de modéliser la dynamique des systèmes concurrents et distribués, facilitant ainsi la simulation, la vérification et l'optimisation de divers processus [18].

- **Logique temporelle** : La logique temporelle est une branche de la logique mathématique qui permet de raisonner sur l'évolution dans le temps des propositions, en ajoutant des modalités temporelles comme "toujours", "un jour" ou "jusqu'à". La logique temporelle linéaire (LTL) considère l'évolution du monde selon une suite linéaire d'états, avec des modalités comme "X" (next) pour la propriété à l'étape suivante, "F" (finally) pour la propriété vraie à un moment dans le futur, "G" (globally) pour la propriété toujours vraie, et "U" (until) pour la première propriété vraie jusqu'à ce que la seconde le devienne. La logique temporelle est très utilisée en vérification formelle, où la technique du model checking permet d'exprimer des propriétés complexes sur le comportement attendu d'un système [19].
- **Théorie des jeux** : La théorie des jeux étudie les interactions stratégiques entre agents rationnels cherchant à maximiser leurs gains, appliquée à divers domaines comme l'économie, la biologie et l'informatique. Elle distingue les jeux coopératifs, permettant les coalitions, des jeux non coopératifs. L'équilibre de Nash, où chaque joueur répond de manière optimale aux actions des autres est central [20].
- **Approches à base de graphes** : Les approches à base de graphes sont des méthodes d'analyse et de modélisation qui utilisent des structures graphiques pour représenter et étudier divers phénomènes et systèmes. En informatique et dans d'autres domaines scientifiques, les graphes sont des structures composées de nœuds (ou sommets) et de liens (ou arêtes) qui décrivent les relations entre les entités [20].
- **Processus de Markov** : Les processus de Markov sont des modèles stochastiques utilisés pour décrire l'évolution d'un système dans le temps. Ils se caractérisent par la propriété de Markov, selon laquelle l'état futur du système ne dépend que de son état présent et non de son historique [21].
- **Algèbre de Processus** : L'algèbre de processus est une théorie mathématique qui offre des opérateurs et des lois équationnelles pour modéliser et analyser des systèmes composés de plusieurs composants interagissants. Grâce à un modèle mathématique elle permet de décrire le comportement global du système à partir des comportements individuels de ses composants et de l'analyser à l'aide de simples calculs algébriques [22].

1.6.1 Algèbre de processus

Dans cette étude, nous avons opté pour l'utilisation de l'algèbre de processus, plus précisément le $\text{CBPA}_{0,1}^*$, qui est une version améliorée du $\text{BPA}_{0,1}^*$. Cette approche formelle offre une méthode claire et structurée pour modéliser efficacement les interactions au sein des systèmes de communication entre les Unités de Bord de Route (RSU) et les véhicules dans les environnements véhiculaires intelligents. Nous utilisons cette méthode pour décrire les comportements individuels des composants du système et leurs interactions.

L'algèbre de processus a été choisie en raison de sa capacité à représenter les comportements concurrentiels et interactifs des systèmes distribués de manière rigoureuse. En particulier, le $\text{CBPA}_{0,1}^*$ permet de modéliser les processus avec des conditions, ce qui est crucial pour notre problématique, où les décisions et les actions dépendent souvent de l'état courant du système et des informations reçues.

Par rapport à d'autres méthodes de modélisation, telles que les réseaux de Petri ou les automates finis, l'algèbre de processus offre une flexibilité accrue pour la composition et l'analyse des processus. Elle permet de raisonner formellement sur les propriétés du système, telles que la sécurité et la liveness, et de vérifier ces propriétés à l'aide d'outils de vérification formelle. De plus, l'algèbre de processus est bien adaptée à la modélisation des protocoles de communication, ce qui est essentiel dans le contexte des VANETs, où les interactions entre les véhicules et les RSU doivent être analysées et optimisées pour garantir des communications sécurisées et fiables.[22]. L'ensemble des algèbres de processus est très vaste comprenant notamment :

- BPA : Basic Process Algebra.
- CCS : Calculus of Communicating Systems.
- LOTOS : Language Of Temporal Ordering Specification.
- CSP : Communicating Sequential Processes.
- ACP : Algebra of Communicating Processes.

1.6.1.1 Algèbre de processus BPA

Pour modéliser notre travail nous avons opté pour l'une des variantes de l'algèbre de processus BPA (Basic Process Algebra).

• Syntaxe

Considérons " c " comme une action sélectionnée dans un ensemble fini d'actions (Σ), et soit " Q " un processus appartenant à un ensemble de processus " q ".

La syntaxe de BPA est définie par la grammaire BNF suivante :

$Q ::= a$ (action élémentaire).

$Q_1.Q_2$ (composition séquentielle) .

$Q_1 + Q_2$ (composition alternative) [23].

Dans la première version de BPA, deux opérateurs fondamentaux sont disponibles pour composer des processus élémentaires afin de créer des processus complexes.

- L'opérateur "." symbolise la composition séquentielle où $P.Q$ est un processus qui exécute d'abord P puis une fois terminé exécute Q .
- L'opérateur "+" symbolise la composition alternative où $P+Q$ est un processus qui exécute soit le processus P soit le processus Q .

• Axiomes de BPA

Le tableau suivant illustre les différents axiomes de l'algèbre BPA :

Axiome	Expression
A1	$P + Q = Q + P$
A2	$(P + Q) + R = P + (Q + R)$
A3	$P + P = P$
A4	$(P + Q) \cdot R = P \cdot R + Q \cdot R$
A5	$(P \cdot Q) \cdot R = P \cdot (Q \cdot R)$

TABLE 1.1 – Les de axiomes BPA.

[24]

- **A1 (commutativité de "+")** : $P + Q$ et $Q + P$ expriment un choix entre P et Q ou entre Q et P . L'ordre n'a pas d'importance dans le choix.
- **A2 (associativité de "+")** : $(P + Q) + R$ et $P + (Q + R)$ signifient que l'on peut d'abord choisir entre P et Q puis entre le résultat et R ou bien choisir d'abord entre Q et R puis entre P et le résultat. Les deux façons de procéder reviennent au même.
- **A3 (idempotence de "+")** : Un choix entre P et P équivaut simplement à choisir P .
- **A4 (distribution droite de ".")** : $(P + Q).R$ et $P.R + Q.R$ représentent un choix entre P et Q suivi de R .
- **A5 (associativité de ".")** : $(P.Q).R$ et $P.(Q.R)$ expriment P suivi de Q suivi de R . L'ordre dans lequel les opérations sont regroupées n'affecte pas le résultat final [25].

1.6.1.2 Langage de spécification $BPA_{0,1}^*$

Prenons P et Q comme deux processus appartenant à un ensemble de processus P . La syntaxe de $BPA_{0,1}^*$ est déterminée par la grammaire BNF suivante :

$P, Q ::= 0 \mid 1 \mid a \mid P+Q \mid P.Q \mid P^*Q$

- **Le chiffre 0** : représente un processus dans un état bloqué.
- **Le chiffre 1** : Indique que le processus a accompli toutes les actions qu'il était capable d'exécuter.
- **'a'** : désigne une action élémentaire à exécuter, choisie parmi un ensemble fini d'actions.
- **$P+Q$** : composition alternative entre les processus P et Q , exécutant soit P soit Q .
- **$P.Q$** : composition séquentielle où l'exécution de Q commence après la terminaison de P .
- **P^*Q** : représenté par $P.(P^*Q) + Q$, une version binaire de l'opérateur étoile de Kleene [26].

1.6.1.3 Langage de spécification $CBPA_{0,1}^*$

$CBPA_{0,1}^*$ est une version étendue du langage de spécification $BPA_{0,1}^*$ permettant d'exprimer des actions conditionnelles et d'introduire la notion de variables [27]. La syntaxe est spécifiée de la manière suivante :

$P ::= 0 \mid 1 \mid c \triangleright a \mid P.Q \mid P+Q \mid P^*Q$

$c \triangleright a$: Cela signifie que si la condition « c » est vraie alors on exécute l'action « a » [27].

1.6.1.4 Opérateurs logiques

Les opérateurs logiques permettent de créer des conditions complexes dans une formule, où plusieurs critères doivent être remplis avant de choisir une méthode de calcul

spécifique. Ils nous offrent la possibilité de définir de telles combinaisons de conditions [28].

Nous avons sélectionné les opérateurs logiques les plus couramment utilisés et adaptés à nos besoins pour exprimer les processus de notre proposition.

- **L'opérateur OU inclusif \vee** : C'est un opérateur logique à deux opérandes, chacun pouvant avoir la valeur VRAI ou FAUX. Le Tableau 1.2 présente la table de vérité de l'opérateur logique OU [28].

P	Q	$(P \vee Q)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

TABLE 1.2 – Table de vérité de OU logique .

- **Le ET logique \wedge** : C'est un opérateur logique à deux opérandes, chacun pouvant avoir la valeur VRAI ou FAUX. Le Tableau 1.3 présente la table de vérité de l'opérateur logique ET [28].

P	Q	$(P \wedge Q)$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

TABLE 1.3 – Table de vérité de ET logique .

1.7 Conclusion

Ce chapitre a été entièrement consacré à l'exploration des concepts théoriques nécessaires. Nous avons tout d'abord exploré les généralités sur les systèmes de transport intelligents (STIs) puis nous avons examiné les réseaux sans fil, les réseaux véhiculaires ad hoc (VANETs), ainsi que les normes et standardisations qui leur sont associées. De plus, nous avons examiné l'application de l'algèbre de processus dans ce contexte.

Le deuxième chapitre se concentrera sur un état de l'art concernant la gestion de la congestion des messages dans les VANETs. Nous examinerons les recherches existantes afin de mieux comprendre les défis rencontrés dans ce domaine ainsi que les solutions proposées.

Chapitre 2

État de l'art sur les types de messages dans les VANETs

2.1 Introduction

La résolution des problèmes de congestion des messages dans les réseaux véhiculaires représente un défi complexe particulièrement en ce qui concerne la gestion efficace des messages. Dans ce domaine en perpétuelle évolution, diverses méthodes ont été étudiées pour réduire ces problèmes incluant la priorisation des messages, les protocoles de communication, ainsi que les algorithmes avancés de gestion de la congestion.

Ce chapitre donnera un aperçu des travaux précédents dans ce domaine précis, mettant l'accent sur leur classification, leur analyse approfondie, ainsi qu'à une comparaison selon divers critères. De plus, nous aborderons également une discussion approfondie afin d'éclairer les perspectives à venir dans ce domaine critique.

2.2 Problématique

La gestion efficace et prioritaire des échanges de messages dans les réseaux de communication véhiculaire (VANETs) est essentielle pour assurer la sécurité routière, la fluidité du trafic et l'optimisation des ressources disponibles en particulier en conditions de forte densité de trafic. Les VANETs facilitent la communication entre les véhicules (V2V) et entre les véhicules et l'infrastructure routière (V2I) jouant ainsi un rôle clé dans le développement des systèmes de transport intelligents. Cependant, la saturation des canaux de contrôle d'accès au support (MAC) pose un défi majeur entraînant des retards de transmission et des pertes d'information. Il est donc impératif de développer des mécanismes robustes et intelligents capables de prioriser en temps réel les messages envoyés par les véhicules. Ces solutions doivent être dynamiques capables de s'adapter aux variations rapides des conditions de trafic et de gérer efficacement la charge réseau même dans des environnements à haute densité.

La priorisation des messages critiques dans les VANETs nécessite une approche multifactorielle c'est-à-dire prenant en compte plusieurs facteurs comme la nature des messages, leur importance relative et les conditions actuelles du réseau. Par exemple, les messages de sécurité doivent toujours avoir la priorité la plus élevée pour garantir une réaction rapide et appropriée des conducteurs. Les messages non liés à la sécurité, bien

que moins critiques que les alertes de sécurité, doivent également être traités rapidement pour éviter les congestions et améliorer la fluidité du trafic.

Dans cette section, nous examinons plusieurs travaux qui présentent des approches pour la gestion des échanges de messages dans les VANETs. Ces recherches visent à développer des mécanismes et des méthodes permettant aux réseaux de garantir des communications réactives et fiables même dans des conditions de trafic variées.

2.3 Classification des travaux passés en revue

Les articles peuvent être classés en 3 catégories : la première catégorie englobe les messages liés à la sécurité, tandis que la seconde catégorie englobe les messages non liés à la sécurité, et la troisième catégorie englobe les messages liés et non liés à la sécurité (hybride).

- **messages liés à la sécurité** : Ces messages fournissent différentes informations comme la vitesse, Mode de conduite, la position et localiation .
- **messages non liés à la sécurité** : Englobent les différentes informations comme les condition de la route ,les travaux routier qui visent a améliorer l'expérience de conduite .
- **hybrides** : Englobe les articles qui traitent à la fois des messages liés à la sécurité et des messages non liés à la sécurité.

La classification des articles étudiés dans cette section est illustrée dans la figure 2.1.

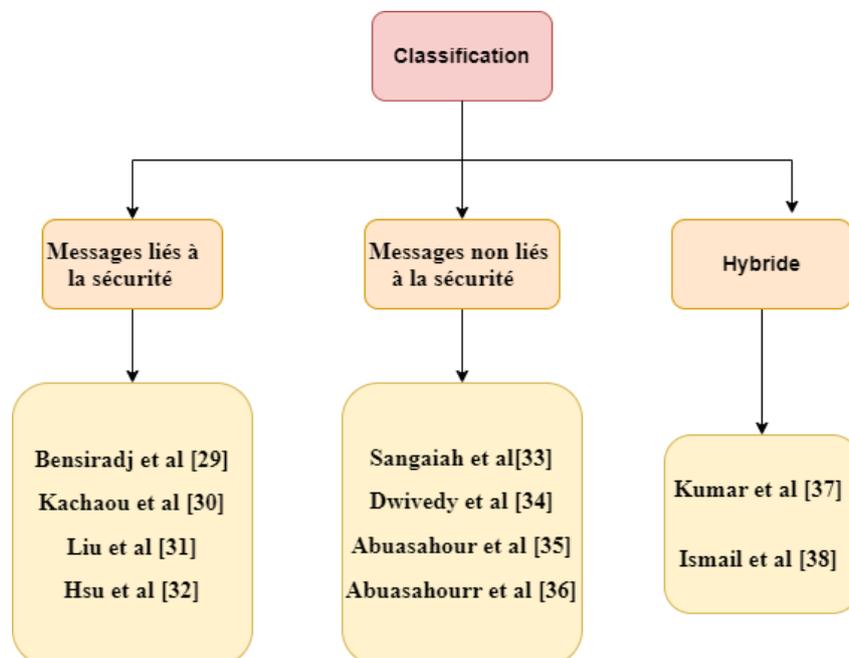


FIGURE 2.1 – Classification des travaux passés en revue

2.4 Analyse des travaux connexes

2.4.1 Approches basées sur le type des messages sécuritaires

— Proposition D'un Protocole De Communication Dans Un Réseau Hybride Pour Améliorer La Sécurité Routière

Bensiradj et al.[29], proposent un protocole de communication MEP (Message Exchange Protocol) conçu pour améliorer les échanges d'informations entre un réseau de capteurs sans fil (WSN) et un réseau véhiculaire (VANET) au sein d'un réseau hybride. Les évaluations ont été effectuées à l'aide des simulateurs OMNeT++ 4.3 et MiXiM 2.3 en se concentrant sur les performances du protocole qui vise à assurer un échange complet d'informations routières et une transmission rapide de messages critiques indépendamment de la vitesse des véhicules. L'environnement de simulation consiste en un réseau hybride déployé dans une région géographique comprenant 1024 zones chacune contenant un nombre variable de segments. Des détails spécifiques sont fournis sur les zones, les segments de routes, les chefs de groupe véhiculaires, et les capteurs passerelles. La simulation est basée sur une route unidirectionnelle de 4 km avec des véhicules se déplaçant à des vitesses variables. La méthode d'évaluation se concentre sur trois aspects : les délais d'échanges de paquets, le nombre maximal de paquets échangés et les délais de livraison des messages critiques.

Les résultats démontrent l'efficacité du protocole dans différents scénarios en utilisant des approches telles que l'utilisation de messages beacon et une communication à deux phases pour gérer les interférences ou les collisions. Le protocole MEP est validé à travers plusieurs cas d'échanges entre capteurs et véhicules, mettant en évidence la fiabilité du protocole même en cas de non-réception des messages beacon. La simulation inclut des détails sur les tailles des messages, la non-destruction des paquets par le capteur passerelle et des informations sur les performances du protocole dans des situations diverses. Les résultats mettent en évidence la robustesse du protocole MEP avec des délais de livraison des messages critiques courts démontrant l'avantage d'utiliser des capteurs passerelles temporaires pour optimiser la communication. Les informations détaillées sur les performances y compris les taux de duplication des paquets et les taux de perte des paquets renforcent la crédibilité et la fiabilité du protocole dans des conditions variées. En conclusion, le protocole MEP se positionne comme une solution efficace pour les réseaux hybrides, offrant des performances optimales dans des scénarios réalistes de communication entre capteurs sans fil et véhicules.

— Towards a Secured Clustering Mechanism for Messages Exchange in VANET

kchaou et al.[30], l'objectif de la proposition est d'accroître la sécurité et la stabilité des réseaux VANET en mettant en place un mécanisme de clustering et un mécanisme de gestion de la confiance (TCMV). L'échange de divers types de messages, comme Beaconmsg, Neighborsmsg, Chmsg, Alertmsg, etc. permet de créer et de maintenir des groupes de véhicules en fonction de caractéristiques telles que la vitesse.

Un exemple concret a été exposé afin de mettre en évidence le fonctionnement de ces mécanismes, en mettant en évidence la formation des clusters, le calcul de la crédibilité des messages et la mise à jour de la réputation des véhicules. Dans cette étude de cas, les véhicules et les RSU échangent des messages afin de repérer les événements, évaluer la crédibilité des observations et mettre à jour la réputation des véhicules en conséquence. Les conclusions tirées révèlent que le dispositif suggéré favorise une meilleure structuration des véhicules en clusters et une évaluation plus précise de la crédibilité des messages transmis. Cela favorise la diminution des dangers liés à la diffusion d'informations erronées ou malveillantes dans les réseaux VANETs ce qui améliore la sécurité globale du système.

— **A Reinforcement Learning-Based Congestion Control Approach for V2V Communication in VANET**

Liu et al.[31], cet article propose une nouvelle méthode pour contrôler les taux de transmission des messages dans les réseaux ad hoc de véhicules en se concentrant sur la garantie d'une transmission fiable des messages de sécurité tout en gérant efficacement la congestion des canaux. Grâce à l'utilisation d'un processus de décision markovien (MDP) et d'un algorithme d'apprentissage par renforcement (RL) cette méthode sélectionne de manière dynamique le débit de transmission optimal en fonction des conditions du canal cela favorise à la fois une meilleure livraison des paquets et une réduction de la congestion. L'efficacité de cette méthode est prouvée par les résultats de simulation dans différents scénarios de trafic et des améliorations futures sont envisagées afin de renforcer la solidité de l'algorithme.

En outre, l'article étudie diverses méthodes de gestion de la congestion dans les VANETs en se concentrant sur les applications de sécurité essentielles. Il fait une comparaison entre les algorithmes de débit et ceux de puissance de transmission mettant en évidence l'importance d'une adaptation dynamique aux variations des conditions du réseau. La gestion des congestions dans les VANET est complexe ce qui requiert des techniques adaptatives comme l'apprentissage automatique afin d'assurer une transmission fiable des messages tout en réduisant la congestion.

— **Development of potential methods for testing congestion control algorithm implemented in vehicle-to-vehicle communications**

Hsu et al.[32], dans cet article nous exposons la création de méthodes de test afin d'évaluer un algorithme de Contrôle de la Congestion des Canaux dans les communications V2V. Le but est de résoudre les problèmes de congestion en modifiant la fréquence et la puissance de transmission des messages de sécurité de base (BSM). Le nombre optimal de Dispositifs de Référence d'Utilisateur (DRU) requis pour générer les niveaux de congestion nécessaires est déterminé à l'aide des simulations V2V. Ils ont proposés un algorithme novateur pour générer des données GPS afin de simuler les véhicules qui émettent des BSM lors des tests. Avant de les mettre en place il est nécessaire de valider ces procédures de test et de réaliser plusieurs tests afin de repérer et résoudre les problèmes potentiels. Finalement, les tests ont pour objectif de s'assurer de la conformité aux normes et de garantir des performances optimales du CCA dans des conditions réelles de congestion de canal.

2.4.2 Approches basées sur le type des messages non sécuritaires

— LACCVoV : Linear Adaptive Congestion Control With Optimization of Data Dissemination Model in Vehicle-to-Vehicle Communication

Sangaiah et al.[33], dans cet article ils ont examiné en détails l'algorithme linear congestion control (LACC) dans les réseaux ad hoc. Parmi les défis majeurs de ces réseaux on retrouve la congestion des canaux de communication et la variation du trafic. Cet algorithme a pour but de résoudre ces deux problèmes en optimisant la stabilité des connexions et un transfert efficace des données. Afin d'accomplir ça il doit prendre des décisions de routage intelligentes et évaluer d'une façon stratégique tous les véhicules voisins selon certains critères comme leur capacité à maintenir une connexion fiable et stable et aussi leurs vitesses et direction.

Tout d'abord, le système fait l'évaluation des conditions actuelles du réseau VANET, la densité du trafic, la topologie et le niveau de congestion. Après utilisation de la programmation linéaire entière le LACC fait la sélection des véhicules voisins, grâce à cette sélection approfondie seulement les véhicules les plus appropriés sont sélectionnés pour l'envoi des données ce qui aide à maximiser les performances du réseau et diminuer les ressources requises. Après identification des véhicules LACC applique cette stratégie pour la diffusion des messages, cette stratégie s'appuie sur l'évaluation continue de la stabilité de connexion et les conditions du réseau ce qui permet une adaptation dynamique face aux changements de l'environnement. La diffusion sélective de ces messages permet de réduire les retards et les pertes.

LACC a offert des résultats améliorés en terme de communication véhiculaire comme les résultats l'indiquent grâce au LACC le ratio de livraison des messages est le meilleur par rapport à d'autres méthodes existantes.

— Cluster Based Multi Hop Data Dissemination Protocol in V2V Networks using Whale Optimization Technique

Dwivedy et al.[34], l'article expose une recherche sur la manière dont les données sont efficacement diffusées dans les réseaux ad-hoc véhiculaires en mettant l'accent sur la transmission d'informations sur le trafic et les conditions routières. Les applications de sécurité et non sécurisées ont besoin de cette diffusion de données ce qui implique souvent l'envoi de multiples messages à différentes destinations sur la route. Toutefois, la diffusion efficace des informations est entravée par la congestion causée par les messages de surcharge de contrôle.

Afin de remédier à cette problématique l'article suggère un protocole de dissémination de données adaptatif idéal (OAddP). Les algorithmes de clustering optimal et de réduction de la surcharge de contrôle sont utilisés dans ce protocole afin de maximiser l'efficacité de la distribution des données et le taux de réussite avec divers flux de trafic. L'algorithme d'optimisation de la baleine est également utilisé dans le protocole pour le regroupement et la sélection des nœuds de regroupement (CH). Le protocole proposé consiste à regrouper les véhicules en clusters en fonction de leur position et de leur vitesse puis à choisir des clusters en fonction de la consommation d'énergie, des informations sur les véhicules et du taux de congestion. Après avoir formé les clusters et choisi les CH un algorithme de prise de décision basé sur les prévisions est employé afin de réduire au minimum les messages de surcharge

de contrôle dans le réseau. Les performances du protocole OAddP proposé sont également comparées à celles du protocole de dissémination de données adaptatif existant. En utilisant le simulateur de réseau NS-2 et la simulation de mobilité urbaine (SUMO), on évalue les performances en modifiant le flux de trafic et la densité de véhicules.

Selon les simulations, il est démontré que le protocole OAddP offre des performances plus élevées en ce qui concerne le taux de réussite et l'efficacité de la dissémination des données par rapport au protocole AddP existant même dans des conditions de trafic intenses. L'importance d'une diffusion efficace des données dans les VANET est mise en évidence par cette étude afin d'améliorer la sécurité et les performances des applications de communication entre véhicules (V2V).

— **Control Overhead Reduction in Cluster-Based VANET Routing Protocol**

Abuashour et al.[35], l'article propose une solution novatrice pour atténuer la surcharge de messages dans les réseaux ad hoc pour véhicules à topologie clusterisée. En utilisant la technique de clustering l'algorithme CORA vise à minimiser le nombre de messages de contrôle générés en particulier les messages CMHELLO, qui sont échangés entre les membres du cluster et les chefs de cluster (CH). CORA optimise la période d'échange de ces messages en prenant en compte le temps de vie restant du CH élu ce qui permet de réduire la surcharge de contrôle tout en maintenant une communication efficace dans le réseau. L'article présente trois scénarios dans lesquels les messages CMHELLO sont propagés : lorsque le véhicule entre ou quitte la zone du cluster ou lorsqu'un nouveau CH est élu.

Les performances de CORA sont évaluées à l'aide de simulations comparatives avec d'autres protocoles, démontrant que CORA génère le moins de messages CMHELLO parmi les protocoles évalués. De plus, CORA permet une réduction significative du nombre total de messages de contrôle générés dans les VANET par rapport aux protocoles traditionnels en optimisant l'utilisation des ressources du cluster.

— **En Enhanced Control Overhead messages Reduction Algorithm in VANET**

Abuashour et al.[36], dans cet article on expose ECORA une solution novatrice visant à diminuer la surcharge de messages de contrôle dans les réseaux de véhicules ad hoc (VANET) en adoptant une approche basée sur des clusters. L'utilisation de réseaux en cluster permet de diviser le réseau en groupes de véhicules afin d'améliorer la stabilité et de diminuer la surcharge de messages. L'objectif principal d'ECORA est de diminuer les messages diffusés par les chefs de cluster (CHADS) en mettant en place un mécanisme de prédiction afin d'optimiser la diffusion de ces informations.

Dans le cadre d'ECORA, les responsables de cluster (CH) planifient la période de diffusion des CHADS en se référant aux notifications des clusters voisins concernant l'heure prévue d'arrivée de nouveaux membres dans leur structure. Il est possible de diminuer de manière efficace le nombre de messages de contrôle tout en préservant la stabilité du cluster. Selon les simulations, on observe une diminution notable du nombre de messages CHADS par rapport aux méthodes classiques.

En outre, ECORA tient compte des arrivées et des départs des véhicules dans les clusters afin de déterminer le nombre total de messages de contrôle aérien, garantissant ainsi une utilisation optimale des ressources réseau. Les annonces sont diffusées uniquement pendant les périodes spécifiques grâce à l'algorithme de prédiction de l'heure de diffusion du CH, ce qui permet de réduire la surcharge de messages de contrôle. En simulant et en évaluant les performances à l'aide du générateur de trafic SUMO et de Matlab, ECORA présente une amélioration notable par rapport aux protocoles classiques, en diminuant la surcharge des messages de contrôle tout en maintenant un débit élevé pour chaque CH suivant dans un scénario d'autoroute en cluster.

2.4.3 Approches hybride

— Congestion control approach by reducing the number of messages in VANET

kumar et al.[37], dans cet article, ils exposent une approche pour gérer la congestion dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANETs) en se concentrant sur l'optimisation de l'utilisation des ressources existantes du réseau tout en évitant les surcharges inutiles des nœuds et des fils. La gestion de la congestion est complexe pour les VANETs en raison de défis spécifiques tels que la modification de la topologie et la variation de la densité des nœuds.

La proposition de méthode consiste à diminuer le nombre de messages transmis dans le VANET en supprimant les types de messages récurrents. La table voisine de chaque nœud permet de comparer les nouveaux messages avec les messages précédents ce qui permet de supprimer les doublons. Une fois que les messages ont été transférés vers la file d'attente de contrôle ou la file d'attente de service ils sont ensuite traités et supprimés des files d'attente. Il est possible de traiter trois catégories de messages : les messages de balise, d'urgence et de requête, chacun ayant un format spécifique pour les champs tels que l'identité, l'emplacement, la vitesse, etc. Les dimensions des formats de message sont calculées en fonction du nombre de véhicules présents dans le réseau et des exigences particulières de chaque type de communication. D'après une comparaison, il apparaît que la méthode suggérée améliore les performances par rapport aux techniques existantes en augmentant la capacité de transport des messages tout en conservant le même délai médiocre cela diminue aussi les chances de perdre des messages favorisant ainsi une communication plus fiable et performante dans les VANETs.

— Enhanced Congestion Control Model Based on Message Prioritization and Scheduling Mechanism in Vehicle-to-Infrastructure (V2I)

Ismail et al.[38], dans cette étude ils ont mis au point un modèle avancé de priorité et de planification des messages dans les réseaux de véhicules autonomes (VANETs) afin de prévenir de manière efficace la congestion des canaux de communication. Le modèle proposé contient deux modules : le module de calcul de priorités et le module de planification dynamique. Pour le PCM son rôle est de faire la collecte des messages des véhicules et de les classer selon leur

type si c'est des messages de sécurité, messages événementielle, message de balise et les messages non liés a la sécurité. Par la suite ces messages seront classés dans les files d'attentes prioritaires en suivant leur importance et leurs impacts sur le réseau. Pour attribution des priorités a ces messages l'algorithme commence par évaluation de la probabilité de collision et prendre en considération le délai et la taille du message et ils seront affecter a des files d'attente différents selon leurs priorités. Pour le module DSM son intervention commence après étape de priorisation des messages pour décider et planifier leur émission dans les canaux de communication. Plusieurs facteurs sont pris en compte par l'algorithme de planification telle que l'index de priorité, le délai, la distance et la direction du message. Les messages sont programmés dans chaque file d'attente en fonction de ces critères et une reprogrammation des messages événementiels pour éviter les retarde. En outre, il est possible de reprogrammer les messages de balise en utilisant un minuteur spécifique, tandis que les messages non liés à la sécurité sont planifiés en suivant une stratégie de type "First-Come, First-Served" (FCFS).

Grâce à l'utilisation du simulateur OMNeT++ avec le framework SUMO les chercheurs ont pu mettre en évidence son efficacité pour améliorer les performances du réseau. Les simulations ont révélé une diminution notable de la congestion des canaux de communication, une augmentation du taux de livraison des paquets (PDR), une amélioration du débit et une réduction du délai moyen. L'efficacité de l'approche suggérée pour la gestion proactive des VANETs a été confirmée par ces résultat ce qui ouvre la voie à de futures études dans ce domaine.

2.5 Étude comparative

Dans cette section, nous allons comparer les différents articles étudiés afin d'évaluer leurs approches, leurs résultats et leurs contributions dans le domaine des systèmes de transport intelligents dans le but de mieux appréhender et comprendre les nuances entre ces différentes études et nous allons procéder à une analyse comparative approfondie en examinant plusieurs critères clés.

2.5.1 Critères de comparaison

Quelques Critères seront pris en compte pour faire une comparaison entre les différentes études vues précédemment :

- **Méthode**

Approche ou techniques spécifiques qui peuvent être basées sur la planification des messages priorisations des messages ou sur des protocoles de communication pour apporter des améliorations au niveau de la communication et réduire la surcharge des messages échangés.

- **Complexité**

Examiner et comparer diverses solutions en fonction de leur niveau de difficulté relative consiste à évaluer comment chaque approche aborde un problème en

termes de complexité et de facilité d'implémentation .

- **Complexité élevée** : Solutions nécessitant des algorithmes sophistiqués et des architectures complexes, demandant une compréhension approfondie du domaine et une expertise technique avancée.
- **Complexité moyenne** : Solutions utilisant des techniques bien établies, nécessitant une expertise modérée, plus accessibles et moins exigeantes en termes de ressources que celles à complexité élevée.
- **Complexité faible** : Solutions simples et directes, utilisant des techniques de base nécessitant peu d'expertise et de ressources, faciles à implémenter, comprendre et maintenir.

- **Simulateur**

Nous avons examiné attentivement le choix des simulateurs utilisés dans chaque article afin d'évaluer leur pertinence et leur utilité. Les simulateurs comme SUMO, OMNeT++ et NS2 permettent de créer virtuellement une multitude de scénarios en simulant les échanges de données, les déplacements et les interactions des véhicules dans des contextes variés. Cette approche offre une méthode efficace pour tester et comparer les protocoles de communication ainsi que les algorithmes de routage sans nécessiter le déploiement coûteux de systèmes réels sur le terrain.

- **Paramètre de performance**

Notre étude s'est concentrée sur les critères essentiels pour mesurer et évaluer l'efficacité des systèmes en prenant en compte des aspects tels que le taux de délivrions des donnes, la compétition pour accès au canal, le délai de transmission des donnés .

- **Type de messages**

Les différents messages échangés dans les communication V2V ou V2I et qui sont catégoriser selon les informations échangés certains sont des messages non lies a la sécurité comme les messages sur information sur le trafic et les messages liées a la sécurité .

2.5.2 Tableau Comparatif

Le tableau 2.1 illustre une étude comparative des travaux passés en revues.

REF	Année	Méthode	Complexité	Simulateur	Paramètres	Type de message
[38]	2022	Modèle avancé de priorité et de planification des messages dans les réseaux de véhicules autonomes (VANETs)	Faible	OMNET++, SUMO	-PDR -Débit - Délai -Temps d'attente	- Messages de sécurité -Messages non liés à la sécurité
[29]	2015	Protocole de communication, MEP (Message Exchange Protocol)	Moyenne	OMNeT++, MiXiM 2.3	-Délais des échanges des paquet - Le nombre maximal des paquets échangés -Les délais de livraison des messages critiques	-Message de sécurité
[33]	2020	Contrôle de congestion adaptatif linéaire (LACC) basé sur l'acheminement a vide pour la dissémination des données dans les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET)	Faible	-	- Livraison de message -délai moyen	- Messages non liés à la sécurité
[34]	2019	Protocole de dissémination de données adaptatif idéal (OAddP)	Elevée	NS-2, SUMO	-les taux de succès -L'efficacité de la diffusion des données	-Messages non liés à la sécurité
[30]	2018	A Secured Clustering Mechanism	Elevée	-	-la vitesse des vehicules -la crédibilité du message	-Message de sécurité
[35]	2020	Améliorer la gestion des communications au sein des clusters VANET grâce à l'algorithme CORA	Moyenne	SUMO Version 0.28.0, MATLAB Version R2016B	- Nombre de messages	- Messages non liés à la sécurité
[31]	2023	Réduire la congestion du canal tout en améliorant la fiabilité des données de sécurité, ce qui offre une solution adaptative aux évolutions des réseaux de véhicules.	Élevée	-	-Le débit de transmission des messages BSM	-Messages de sécurité
[32]	2017	Évaluer le nombre de dispositifs requis pour simuler diverses congestions de canaux et présente un nouvel algorithme de génération de données GPS	Moyenne	OMNeT++, SUMO	-Pourcentage d'occupation du canal	-Message de sécurité

[36]	2018	L'organisation en clusters, l'emploi de l'algorithme ECORA en combinaison avec des algorithmes de prédiction CHADS.	Elevée	SUMO	- Nombre de messages	- Messages non liés à la sécurité
[37]	2015	La méthode utilisée dans cet article combine une approche de réduction des messages redondants avec des formats de message spécifiques.	Faible	-	-Capacité de transport de bits du messages	-Message de sécurité -Messages non liés à la sécurité

TABLE 2.1 – Comparaison des articles.

2.5.3 Discussion

L'étude comparative et l'analyse des recherches actuelles sur les réseaux de véhicules autonomes (VANETs) sont essentielles pour appréhender les évolutions constantes dans ce domaine. Les articles examinés mettent en lumière plusieurs aspects clés tels que les méthodes employées, la complexité des approches, l'utilisation de simulateurs, les paramètres de performance étudiés et les types de messages échangés.

Diverses approches sont explorées dans ces recherches certains chercheurs se focalisent sur des modèles avancés de priorité et de planification des messages tandis que d'autres se penchent sur des protocoles de communication spécifiques comme dans [38], ils mettent en avant des modèles sophistiqués de priorité et de planification des messages dans les VANETs, Bien que leurs approche présente certains avantages pour la gestion des messages dans les VANETs, elle repose Seulement que sur les messages réactifs, ce qui peut limiter son efficacité en situation réelle .En revanche, dans [29], examine le protocole MEP (Message Exchange Protocol) qui présente une complexité accrue en raison de ses nombreuses caractéristiques techniques, telles que l'utilisation de messages beacon pour maintenir la communication et l'échange d'informations, ainsi que la gestion des interférences et des collisions. Cette complexité requiert des ressources matérielles et logicielles significatives pour une mise en œuvre pratique.

La complexité algorithmique de l'approche de [34], rend l'implémentation du protocole OAddP délicate, nécessitant une surveillance continue et une adaptation dynamique des clusters, ce qui peut limiter son efficacité dans des scénarios de trafic variés et complexes.

Dans [33], ils explorent quant à eux une méthode de contrôle de congestion adaptatif linéaire (LACC) basée sur un cheminement avide pour la dissémination des données dans les VANETs, malgré que ette approche vise à minimiser la congestion tout en assurant une transmission efficace des messages elle requiert une surveillance continue des véhicules environnants potentiellement augmentant la charge du réseau.

Les approches basées sur des clusters de véhicules telles qu'ECORA [35], peuvent être sensibles aux variations de densité du trafic et à la mobilité des véhicules nécessitant une adaptation constante des clusters dans des environnements dynamiques.

Les simulateurs comme OMNET++, SUMO, NS-2 et MATLAB jouent un rôle important dans l'évaluation des performances des protocoles et des algorithmes de communication dans les VANETs. Cependant, certaines études ne spécifient pas l'utilisation d'un simulateur spécifique indiquant peut-être une approche basée sur des essais réels ou d'autres outils de simulation.

En outre, les paramètres de performance étudiés incluent le débit de transmission des messages [38], [31], le taux de réussite de la diffusion des données [37], [35], [34], les délais de livraison des messages critiques et la crédibilité des messages [38], [29], [31].

Dans les VANETs, la classification des messages est essentielle pour coordonner efficacement les véhicules et les infrastructures routières visant à prévenir les accidents. Les messages de sécurité jouent un rôle central à cet égard tandis que les messages de contrôles ou publicitaires bien utiles pour la gestion du trafic sont moins prioritaires en termes de sécurité. La conception des protocoles doit donc gérer ces catégories de messages de manière appropriée pour garantir l'efficacité et la sécurité du réseau VANET.

2.6 Conclusion

Ce deuxième chapitre, nous a permis d'analyser les difficultés de gestion de la congestion dans les réseaux véhiculaires. Nous avons examiné diverses méthodes. Notre étude approfondie nous a donné la possibilité de classer et de comparer ces méthodes offrant ainsi des perspectives pour la recherche à venir.

Dans le prochain chapitre, nous présenterons une nouvelle méthode Permettant de hiérarchiser et de donner priorité aux messages pour une gestion efficace des communications dans les réseaux de véhicules intelligents.

Chapitre 3

Gestion et priorisation des messages pour une communication optimale dans les STI

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons notre proposition pour la résolution du problème de la gestion des messages dans les réseaux ad hoc de véhicules.

Nous commençons par une brève présentation de la motivation qui nous a incités à travailler sur ce sujet notamment les défis liés à la surcharge du réseau et à la priorisation des informations critiques. Ensuite, nous détaillons notre approche qui inclut la définition de formats de messages et l'établissement d'une stratégie de hiérarchisation, de priorisation des messages et l'implémentation d'un algorithme de classification des messages.

3.2 Motivation

Notre proposition a été motivée par plusieurs défis essentiels identifiés dans le domaine des communications de sécurité routière. Notre recherche a révélé des problèmes significatifs qui entravent actuellement l'efficacité et la sécurité des systèmes de communication entre véhicules.

1. Nous avons constaté un manque de formats standardisé pour les messages de sécurité ce qui entraîne une incohérence dans la transmission et le traitement des informations Nécessaire. Cela peut provoquer des retards ou des erreurs dans la communication des données vitales pour la sécurité routière. Un format standardisé est essentiel pour assurer une communication claire et uniforme permettant une réponse rapide et coordonnée aux incidents.
2. La surcharge des messages dans les RSU est un problème critique Lorsque les RSU sont inondées de messages cela peut entraîner une congestion des canaux de communication retardant la transmission des informations essentielles et compromettant la sécurité routière. Une gestion inefficace des messages surcharge les ressources et diminue la performance du système global. Notre système propose une solution en hiérarchisant et en classant les messages pour

s'assurer que ceux qui concernent la sécurité sont traités en priorité réduisant ainsi la surcharge et optimisant l'utilisation des ressources.

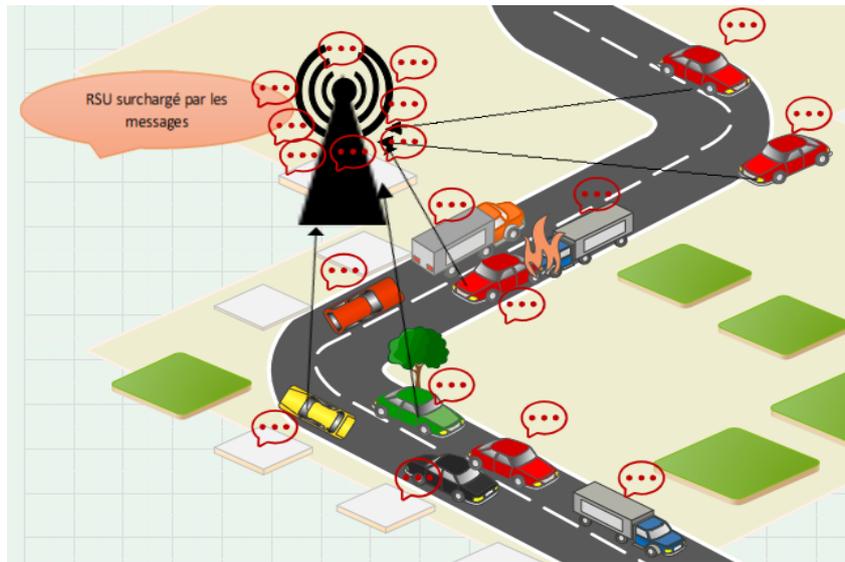


FIGURE 3.1 – Problème de surcharge dans un réseaux VANET.

3. Dans les situations d'urgence chaque seconde compte. Une réponse rapide et coordonnée aux incidents routiers est Fondamental pour minimiser les impacts négatifs sur la sécurité des usagers et sur la fluidité du trafic. Notre proposition vise à pallier cette faiblesse en assurant que les informations les plus critiques sont non seulement identifiées et priorisées correctement mais aussi transmises de manière efficace.

Dans l'analyse des approches présentées dans notre état de l'art une lacune commune dans la gestion des réseaux VANETs émerge est l'absence de hiérarchisation efficace des messages entraînant une utilisation inégale des ressources et une inefficacité dans la transmission d'informations critiques pour la sécurité routière.

Dans la section suivante, nous détaillerons notre approche qui représente une avancée majeure dans la gestion des messages reçus par les RSU. Notre solution repose sur l'algorithme "Priority-driven Secure Message Classification" offrant une gestion optimisée et efficace des communications routières.

Notre système se distingue par la capacité à séparer les messages de sécurité des autres communications non liées à la sécurité en les classant selon leur importance et leur urgence. Cette classification permet un traitement prioritaire des informations critiques améliorant ainsi la sécurité des usagers. En catégorisant les messages de sécurité en réactifs et préventifs notre approche assure une réponse rapide et adéquate aux incidents. L'attribution de priorités spécifiques garantit que les informations les plus urgentes sont traitées en premier renforçant la réactivité du système.

Pour optimiser l'utilisation des ressources et garantir une communication fluide et sécurisée notre approche inclut la mise en place des files d'attente dédiées et l'utilisation de canaux de communication sécurisés. En réduisant la surcharge des données et en améliorant la réactivité notre solution renforce la sécurité et l'efficacité du système de communication des véhicules. Cela contribue ainsi à une meilleure gestion du trafic et à une expérience de conduite plus sûre pour tous les utilisateurs.

3.3 Notre proposition

Dans cette section, nous décrivons la mise en œuvre de notre proposition ou nous débutons par la présentation des formats de messages en distinguant deux types : les messages liés à la sécurité et ceux non liés à la sécurité. Ensuite, nous subdivisons les messages de sécurité en deux catégories : réactifs et proactifs. Nous abordons également la gestion des files d'attente en priorisant les messages pour une gestion optimale. Enfin, nous détaillons la stratégie de diffusion des messages en utilisant des canaux spécifiques pour garantir une communication efficace au sein des réseaux véhiculaires ad hoc. Cette mise en œuvre repose sur notre algorithme "Priority-driven Secure Message Classification Algorithm".

3.3.1 Présentation des formats de messages

Pour concrétiser notre proposition de manière optimale nous suggérons de concevoir deux formats distincts : un pour les messages liés à la sécurité et un autre pour les messages non liés à la sécurité. Ces formats seront définis en fonction du contenu spécifique de chaque message reçu par l'RSU en intégrant les champs pertinents déduits à partir de l'état de l'art établi dans le chapitre précédent.

3.3.1.1 Format des messages liés à la sécurité

Nous avons élaboré ce format avec ces champs spécifiques pour les messages de sécurité dans un système de transport intelligent. Cette sélection découle de l'importance capitale de ces informations pour garantir la sécurité dans VANETs. En utilisant ce format uniforme pour tous les types de messages liés à la sécurité nous bénéficions de plusieurs avantages en termes de cohérence de simplicité et d'efficacité du système [30].

En outre, cela facilite la gestion, le traitement et l'interprétation des données sécuritaires tout en améliorant la réactivité et la fiabilité du système global. La figure 3.2 et le tableau 3.1 présentent les champs de ce type de message [38].

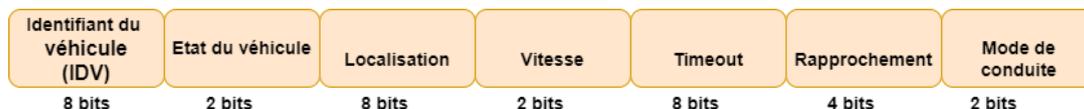


FIGURE 3.2 – Format des messages liés à la sécurité.

Champ	Description	Nombre de bits et Justification
Identifiant du véhicule (IDV)	Identifiant unique attribué à chaque véhicule.	8 bits permet d'attribué un identifiant unique.
État du véhicule	Condition générale du véhicule .	2 bits pour représenter 4 états possibles comme (écrasé, en panne, normal).
Localisation	Coordonnées géographiques précises du véhicule.	8 bits (4 bits pour la longitude, 4 bits pour la latitude).
Vitesse	Mesure de la rapidité de déplacement du véhicule.	2 bits permettent de classer la vitesse en 4 catégories, telles que lent, moyen, rapide, très rapide.
Timeout	Délai d'attente maximal défini pour qu'une opération se termine.	8 bits fournissant une grande précision dans la définition des délais.
Rapprochement	Degré de proximité latéral et longitudinal avec d'autres véhicules.	4 bits (2 bits pour le rapprochement longitudinal et 2 bits pour le rapprochement latéral). permettent de classer les distances en 4 niveaux pour chaque dimension.
Mode de conduite	Comportement de conduite adopté par le conducteur.	2 bits suffisent pour représenter 4 modes de conduite différents, comme normal, agressif, prudent.
Taille totale		34 bits

TABLE 3.1 – Tableau des champs avec définition et justification du nombre de bits.

3.3.1.2 Format des messages non liés à la sécurité

Nous avons conçu ce format en mettant en avant les champs essentiels pour les messages non liés à la sécurité dans un système de transport intelligent. Ces choix découlent de la nécessité de transmettre des informations pertinentes pour la gestion des véhicules bien que ces données soient moins critiques en termes de sécurité global montré dans la figure 3.3 et le tableau 3.2 présentent les champs de ce type de message [39].



FIGURE 3.3 – Format des messages non liés à la sécurité.

Champ	Description	Nombre de bits et justification
Identifiant du véhicule (IDV)	Identifiant unique attribué à chaque véhicule	8bits permet d'attribué un identifiant unique
État du véhicule	Condition générale du véhicule	2 bits suffisent pour représenter 4 états possible comme (écrasé, en panne, normal)
Localisation	Coordonnées géographiques précises du véhicule	8 bits (4 bits pour la longitude, 4 bits pour la latitude)
Minuterie	Laps de temps après lequel le message doit être transmis	8 bits permettent de représenter ce laps de temps
Vitesse	Mesure de la rapidité de déplacement du véhicule	2 bits permettent de classer la vitesse en 4 catégories, telles que lent, moyenne rapide, tres rapide
Taille totale		28 bits

TABLE 3.2 – Tableau des champs avec définition et justification du nombre de bits.

3.3.2 Hiérarchisation des files d'attente

Pour gérer les messages reçus RSU commence par les trier dans une file d'attente principale divisée en deux catégories distinctes : une pour les messages relatifs à la sécurité et une autre pour ceux qui ne le sont pas comme illustré dans la figure 3.4.

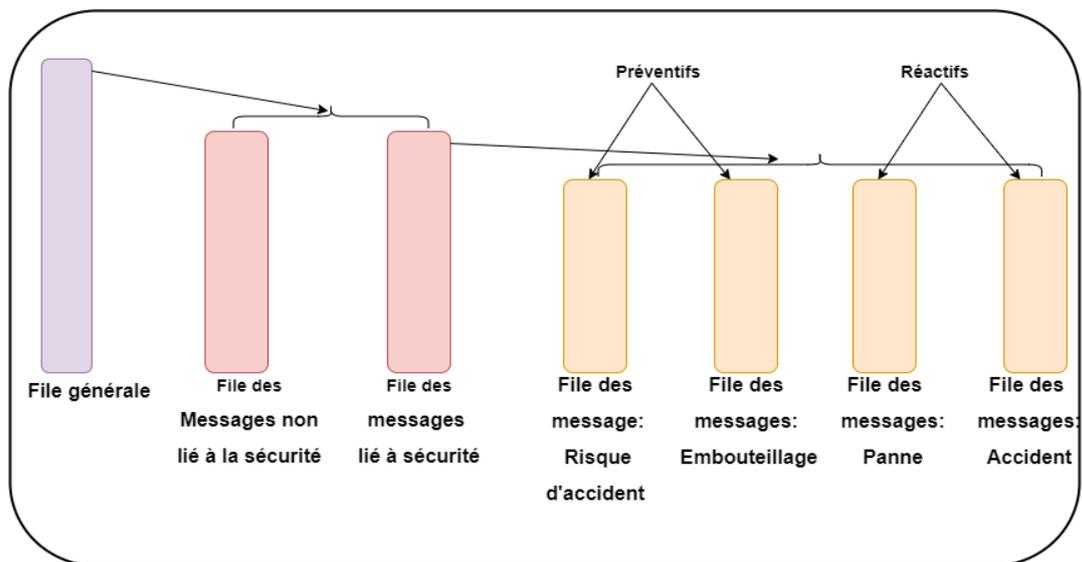


FIGURE 3.4 – files d'attentes.

Ensuite, nous avons subdivisé les messages de la file de sécurité en quatre sous-catégories spécifiques comme illustré dans la figure 3.4, cette subdivision est le résultat de notre analyse approfondie effectuée dans le chapitre 2 où nous avons examiné en détail tous les types des messages reçus. Nous avons conclu que les messages relatifs à la sécurité sont d'une importance capitale car ils influent directement sur la sécurité des usagers et la fiabilité du système. De plus, au sein de

la classe des messages de sécurité nous avons observé des différences significatives en termes de priorité et d'urgence ce qui implique ainsi une subdivision pour une gestion plus efficace et ciblée.

Les messages qui ne sont pas liés à la sécurité ne sont pas subdivisés en catégories supplémentaires car notre analyse a démontré que leur traitement n'exige pas la même attention prioritaire que celle accordée aux messages de sécurité. Bien que ces messages puissent avoir leur propre importance fonctionnelle ils ne requièrent pas une gestion segmentée basée sur des critères spécifiques de priorité et d'urgence

1. Messages préventifs

Les messages préventifs sont des avertissements envoyés pour anticiper et prévenir les risques potentiels sur la route, ils sont triés selon leur time-out respectif. Dans notre cas, nous avons identifié deux types de messages :

- **Risque d'accident** : Indication d'une situation potentiellement dangereuse sur la route impliquant une probabilité accrue d'accident.
- **Embouteillage** : Notification de congestion ou de blocage du trafic sur la voie entraînant des retards significatifs pour les usagers avec une possibilité accrue d'accidents dus à la circulation dense et aux conditions routières difficiles.

2. Messages réactifs

Les messages réactifs sont des alertes envoyées pour répondre à des incidents survenus, ils sont triés selon leur minuterie respective pour une gestion optimisée. Dans notre cas nous avons identifié deux types de messages :

- **Panne** : Signalement d'une défaillance mécanique ou électrique d'un véhicule nécessitant une assistance ou une intervention.
- **Accident** : Signalant la survenue d'un événement imprévu et potentiellement dangereux impliquant un ou plusieurs véhicules.

3.3.3 Priorisation des messages pour une gestion optimal

Pour assurer une gestion efficace des informations transmises par notre système de communication, nous classons les messages en fonction de leur priorité. Les messages de risques d'accidents, d'embouteillages, de pannes, et d'accidents sont triés dans leurs files respectives en fonction du timeout le plus long. En revanche, les messages non liés à la sécurité sont triés selon la minuterie la plus courte.

La priorisation des messages dans les réseaux véhiculaires est établie en fonction du degré d'urgence et de l'impact potentiel sur la sécurité et la fluidité du trafic, comme illustré dans le Tableau 3.3. Les messages signalant des risques d'accident sont classés en priorité 1 en raison de leur possibilité élevée d'accident imminent, nécessitant une intervention immédiate pour prévenir des situations potentiellement dangereuses de manière proactive. Les embouteillages sont classés en priorité 2 car ils indiquent des retards significatifs pouvant fortement affecter la fluidité du trafic, bien que moins urgents que les risques d'accident, ils nécessitent une gestion proactive pour éviter une détérioration rapide de la situation. Les pannes de véhicules, provoquant des interruptions du trafic, sont classées en priorité 3 car elles nécessitent une attention rapide pour éviter qu'elles ne causent des dommages secondaires

ou des embouteillages plus importants. En cas de panne, il est essentiel d'intervenir rapidement pour prévenir des accidents potentiels ou des situations de congestion sévère, d'où leur classification avant les accidents déjà survenus. Les accidents, qui nécessitent une intervention rapide des services d'urgence, sont classés en priorité 4. Bien que critiques, les accidents sont des événements réactifs où l'accent est mis sur la gestion de l'urgence plutôt que sur la prévention immédiate.

Enfin, les messages non liés à la sécurité, tels que les informations générales, annonces ou messages de service, sont classés en priorité 5 car ils n'affectent pas directement la sécurité ou la fluidité du trafic et peuvent être traités en dernier.

Type de Message	Description	Priorité
Risques d'Accident	Possibilité élevée d'accident imminent.	1
Embouteillages	Indication d'embouteillages importants entraînant des retards significatifs.	2
Pannes	Signalement de pannes de véhicules provoquant des interruptions mineures du trafic.	3
Accidents	Signalement d'accidents survenus nécessitant une intervention rapide des services d'urgence.	4
Messages Non Liés à la Sécurité	Informations générales, annonces, ou messages de service.	5

TABLE 3.3 – Priorisation des Messages.

3.3.4 Stratégie de diffusion des messages

Dans notre approche, nous avons mis en place une stratégie efficace de diffusion des messages en utilisant deux types de canaux de communication :

- Les canaux CCH (Canaux de Communication Critiques) : sont utilisés pour transmettre les messages liés à la sécurité de type Risque Accident, Embouteillage, Accident et panne.
- Les canaux SCH (Canaux de Communication de Haute Priorité) : sont utilisés pour les messages moins urgents ou non liés à la sécurité.

Cette Stratégie de diffusion nous permet de prioriser les informations essentielles liées à la sécurité routière, réduisant ainsi la surcharge de données en hiérarchisant les messages selon leur importance. En structurant les communications de cette manière nous assurons une transmission plus fluide et sûre des informations sur les routes tout en optimisant l'utilisation efficace des ressources disponibles pour répondre aux besoins critiques en temps opportun.

3.4 Phase de modélisation

Dans la phase de modélisation, notre choix s'est porté sur l'algèbre de processus pour répondre aux impératifs de temps réel, optimisant ainsi le calcul de l'algorithme tout en assurant la sûreté requise. L'utilisation conjointe de l'algèbre de

processus et des opérateurs logiques de base offre une représentation formelle des actions, simplifiant ainsi la mise en œuvre de la priorité des messages dans les VANETs. Cette approche formelle est préférée pour sa capacité à modéliser avec précision les actions, répondant ainsi aux exigences de sûreté en temps réel de manière efficace et structurée.

3.4.1 Processus spécifiant les actions

Notre modélisation, basée sur l'utilisation de l'algèbre de processus, a été un choix stratégique qui nous a permis de développer une proposition solide, bien structurée et capable de répondre efficacement aux exigences du système étudié. Dans ce cadre, nous avons défini un ensemble d'actions qui reflètent les types de messages, liés ou non à la sécurité, mentionnés dans la Section 3.3.1 $\Sigma' = \{a, b, c, d, e\}$, comme suit :

- a : envoie un message proactif "Risque d'accident".
- b : envoie un message proactif "embouteillage".
- c : envoie un message Réactif "panne".
- d : envoie un message Réactif "accident".
- e : envoie un message non liés à la sécurité.

3.4.2 Présentation des processus

Soit l'ensemble des processus (P_i) , définis par des conditions " c " et des actions " a " spécifiques ($c \triangleright a$). Ces processus permettent de montrer la priorité des messages en établissant les conditions nécessaires pour déclencher les actions appropriées :

Le processus P1 décrit les conditions nécessaires à l'exécution de l'action a . Pour exécuter cette action et déterminer si le message doit être classé dans la catégorie "Risque d'accident", nous vérifions 5 paramètres importants ($R1, R2, E, V, M$), représentés dans le tableau 3.4. L'ensemble de ces valeurs permet d'identifier la priorité du message en le classant dans la catégorie de priorité la plus élevée, qui est l'exécution de l'action a .

$$P1 = [((V = 01 \vee V = 10) \wedge (M = 00 \vee M = 01) \wedge E = 10 \\ \wedge (R1 = 10 \vee R1 = 11) \wedge (R2 = 10 \vee R2 = 11))] \triangleright a$$

Le processus P2 décrit les conditions nécessaires à l'exécution de l'action b . Pour exécuter cette action et déterminer si le message doit être classé dans la catégorie "embouteillage", nous vérifions 5 paramètres importants ($R1, R2, E, V, M$), représentés dans le tableau 3.4. L'ensemble de ces valeurs permet d'identifier la priorité du message en le classant dans la catégorie de priorité numéro 2 qui est l'exécution de l'action b .

$$P2 = [(E = 01 \wedge V = 01 \wedge M = 10 \wedge (R1 = 10 \vee R1 = 01) \wedge (R2 = 10 \vee R2 = 01))] \triangleright b$$

Le processus P3 décrit les conditions nécessaires à l'exécution de l'action c . Pour exécuter cette action et déterminer si le message doit être classé dans la catégorie

"panne", nous vérifions 4 paramètres importants (R1,R2,E,V), représentés dans le tableau 3.4. L'ensemble de ces valeurs permet d'identifier la priorité du message en le classant dans la catégorie de priorité numéro 3 qui est l'exécution de l'action c.

$$P3 = [(V = 00 \wedge E = 00 \wedge (R1 = 11 \vee R2 = 11))] \triangleright c$$

Le processus P4 décrit les conditions nécessaires à l'exécution de l'action d. Pour exécuter cette action et déterminer si le message doit être classé dans la catégorie "acciden", nous vérifions 5 paramètres importants (R1,R2,E,V,M), représentés dans le tableau 3.4. L'ensemble de ces valeurs permet d'identifier la priorité du message en le classant dans la catégorie de priorité numéro 4 qui est l'exécution de l'action d.

$$P4 = [(E = 01 \wedge V = 01 \wedge M = 10) \wedge (R1 = 10 \vee R1 = 01) \wedge (R2 = 10 \vee R2 = 01)] \triangleright d$$

Le processus P5 décrit les conditions nécessaires à l'exécution de l'action e. Pour exécuter cette action et déterminer si le message doit être classé dans la catégorie "non liés à la sécurité", nous vérifions un seul paramètre important (m) qui est la minuterie. Cette valeur permet d'identifier la priorité du message en le classant dans la catégorie de priorité numéro 5 qui est l'exécution de l'action e.

$$P5 = [\exists m] \triangleright e$$

Le tableau ci-dessous présente des paramètres utilisés, leur représentation binaire et une brève explication de chaque code associé.

Paramètre	Code Binaire	Description
Rapprochement Latéral (R1)	00	Pas de Rapprochement
	01	Faible
	10	Moyenne
	11	Maximale
Rapprochement Longitude (R2)	00	Pas de Rapprochement
	01	Faible
	10	Moyenne
	11	Maximale
Mode de Conduite (M)	00	Normal
	01	Prudent
	11	Agressif
État (E)	00	Écraser
	01	Panne
	10	Normal
Vitesse (V)	00	Null
	01	Faible
	10	Moyenne
	11	Maximale

TABLE 3.4 – Paramètres et leurs Descriptions.

3.4.3 Priorisation des Actions dans l'Algèbre de Processus

La séquence P établit un ordre de priorité pour l'envoi de messages, où chaque P_i représente un processus spécifique d'envoi de message. Ainsi, l'ensemble des processus est défini comme :

$$P = P_1^* \cdot P_2^* \cdot P_3^* \cdot P_4^* \cdot P_5^*$$

Cela signifie que le processus P_1 (envoi de message de risque d'accident) a la priorité la plus élevée, suivi par le processus P_2 (envoi de message d'embouteillage), puis le processus P_3 (envoi de message de panne), le processus P_4 (envoi de message d'accident), et enfin le processus P_5 (envoi de message non liée a la sécurité).

3.5 Schéma de Traitement des Messages

Pour simplifier le flux de traitement des messages voici les étapes principales du flux présentées dans figure 3.5 et Pour la signification des paramètres, ils ont représenté dans le tableau 3.5 :

Paramètre	Valeurs et Signification
Rapprochement Latéral (R1)	00 : Pas de Rapprochement 01 : Faible 10 : Moyenne 11 : Maximale
Rapprochement Longitude (R2)	00 : Pas de Rapprochement 01 : Faible 10 : Moyenne 11 : Maximale
Mode de Conduite (M)	00 : Normal 01 : Prudent 11 : Agressif
État (E)	00 : Écraser 01 : Panne 10 : Normal
Vitesse (V)	00 : Null 01 : Faible 10 : Moyenne 11 : Maximale

TABLE 3.5 – Signification des paramètres.

- **Phase réception des messages** : Le processus débute par la réception des messages provenant des véhicules. Cette étape est importante car elle marque le point de départ du flux de traitement des informations transmises, nécessitant une réception précise et complète pour garantir la validité des données.
- **Tri initial des messages** : Une fois reçus, les messages sont triés en deux catégories principales : ceux qui sont liés à la sécurité et ceux qui ne le sont pas. Chaque message est analysé pour déterminer s'il contient des informations critiques pour la

sécurité ou s'il s'agit simplement de messages de contrôle. L'existence des champs définis dans la section 3.3.1 vont définir la classe d'appartenance de chaque message. Les champs de sécurité sont essentiels car ils permettent de tracer et d'identifier rapidement les véhicules impliqués dans une situation de sécurité, d'évaluer la condition générale du véhicule, de localiser précisément un véhicule en danger et de mesurer la rapidité de déplacement pour coordonner les secours. Le timeout et le rapprochement fournissent une grande précision dans la définition des délais et le degré de proximité avec d'autres véhicules, ce qui est important pour éviter les collisions. Enfin, le mode de conduite permet d'évaluer le comportement du conducteur, aidant à prévenir des accidents potentiels.

Pour les messages non liés à la sécurité sont importants pour la gestion et l'optimisation du réseau, mais ils ne nécessitent pas de réponse immédiate. Par exemple, la minuterie aide à gérer le flux de communication sans urgence, tandis que l'IDV et l'état du véhicule permettent une surveillance régulière et efficace du réseau. La localisation et la vitesse aident à optimiser les trajectoires des véhicules et à prévenir les embouteillages, améliorant ainsi la fluidité du trafic.

- **Subdivision et priorisation des messages de sécurité :** Les messages identifiés comme étant liés à la sécurité sont ensuite subdivisés en deux sous-catégories : les messages proactifs et réactifs. Les messages proactifs comprennent des alertes préventives telles que les risques d'accidents imminents ou les embouteillages graves, prioritaires en raison de leur impact potentiel élevé. Les messages réactifs incluent des événements en cours comme les pannes de véhicules ou les accidents récents, classés en fonction de leur urgence pour une intervention rapide et efficace.
- **Diffusion des messages :** Une fois les messages priorisés, des canaux de communication appropriés (CCH) ou (SCH) sont sélectionnés pour diffuser rapidement les informations aux destinataires concernés. Cela assure une transmission efficace des messages prioritaires, facilitant ainsi une réponse coordonnée et rapide aux situations critiques.

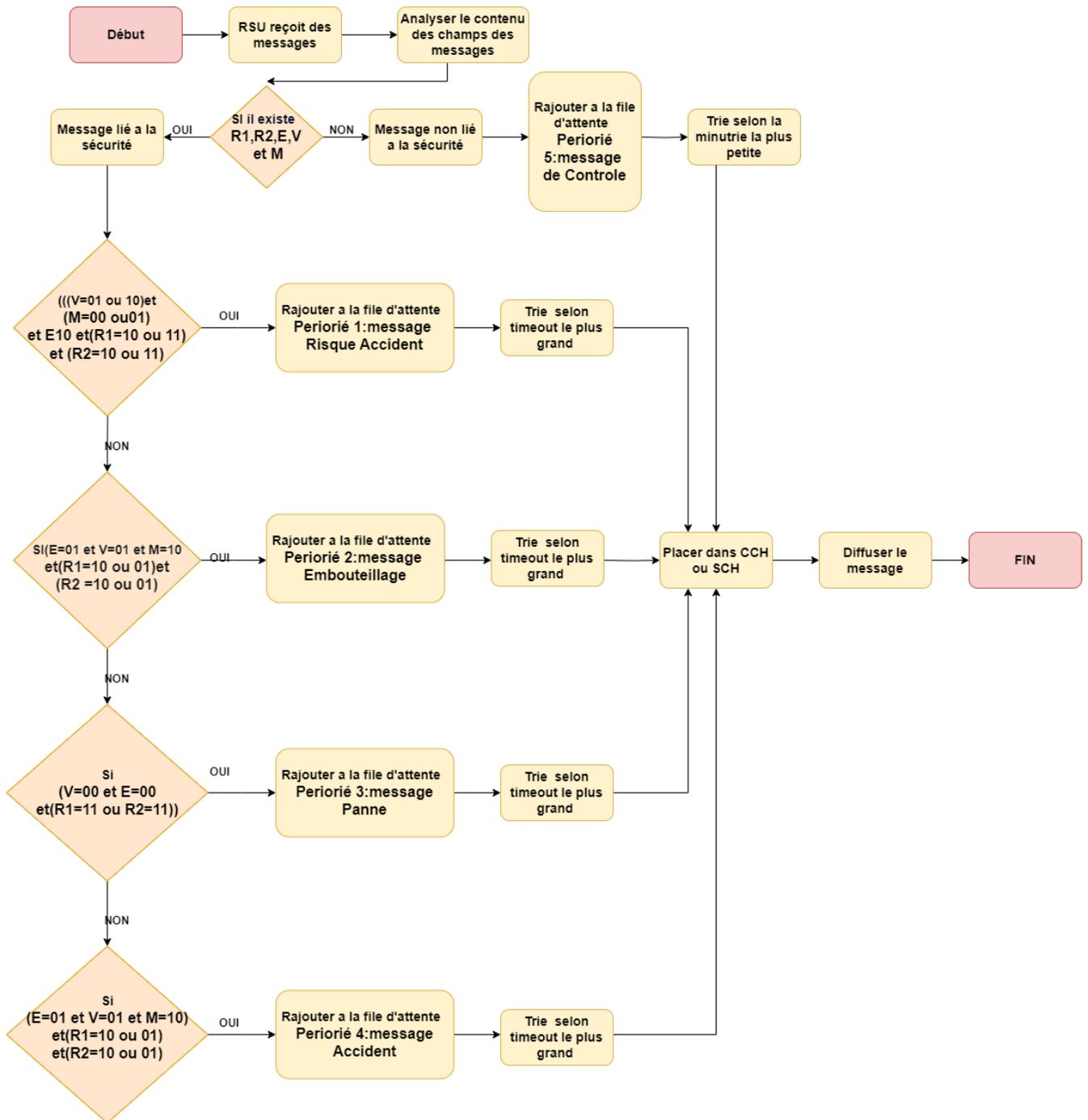


FIGURE 3.5 – Schéma de traitement des messages.

3.6 Priority-driven Secure Message Classification Algorithm

Algorithm 1 Priority-driven Secure Message Classification Algorithm

```

1: Entrée Message  $\leftarrow$  messages
2: Entrée QueueSecurite  $\leftarrow$  ListeVide
3: Entrée QueueNonSecurite  $\leftarrow$  ListeVide
4: Entrée queue1, queue2, queue3, queue4, queue5  $\leftarrow$  ListeVide
5: Entrée Processus  $\leftarrow$  P1, P2, P3, P4, P5
6: Entrée Action  $\leftarrow$   $\Sigma' = \{a, b, c, d, e\}$ 
7: messages  $\leftarrow$  ListeVide
8: ajouter(messages, msg)
9: totalMessages  $\leftarrow$  totalMessages + 1
10: for chaque  $i$  allant de 1 à totalMessages do
11:   if V, E, M existent then
12:     classerMessage(messages[i], QueueSecurite)
13:   else
14:     classerMessage(messages[i], QueueNonSecurite)
15:   end if
16: end for
17: for chaque message dans QueueSecurite do
18:   if message correspond aux conditions de P1 then
19:     queueRA(messages, Liste)
20:     PRPr1(queueRA, parTimeout)
21:     Exécuter Action a
22:     diffuserMessages(Q, "CCH")
23:   else if message correspond aux conditions de P2 then
24:     ClassequeueEM(messages, Liste)
25:     PRPr2(queueEM, parTimeout)
26:     Exécuter Action b
27:     diffuserMessages(Q, "CCH")
28:   else if message correspond aux conditions de P3 then
29:     queuePA(messages, Liste)
30:     REPr3(queuePA, parTimeout)
31:     Exécuter Action c
32:     diffuserMessages(Q, "CCH")
33:   else if message correspond aux conditions de P4 then
34:     queueAC(messages, Liste)
35:     REPr4(queueAC, parTimeout)
36:     Exécuter Action d
37:     diffuserMessages(Q, "CCH")
38:   end if
39: end for
40: for chaque message dans QueueSecurite do
41:   if message correspond aux conditions de P5 then
42:     ClassequeueCO(messages, Liste)
43:     Pr5(queueCO, parMinutrie)
44:     Exécuter Action e
45:     diffuserMessages(Q, "SCH")
46:   end if
47: end for

```

Notre Algorithme "Priority-driven Secure Message Classification" au niveau des Unités Routières (RSU) pour traiter et gérer efficacement les messages entrants en les classant et en exécutant des actions basées sur leur importance. Il commence par initialiser les files d'attente. Chaque message entrant est ajouté à une liste générale (`ajouter(messages, msg)`) et le compteur total de messages est mis à jour. Ensuite, chaque message est évalué pour déterminer s'il doit être classé dans la file de sécurité (`classerMessage(messages[i], QueueSecurite)`) ou dans la file des messages non liés à la sécurité (`classerMessage(messages[i], QueueNonSecurite)`) en fonction des critères tels que la vitesse, l'état et le mode de conduite puis, la file de sécurité est subdivisée en quatre sous-files pour distinguer les quatre types de messages : risque d'accident (RA), embouteillage (EM), panne (PA) et accident (AC) ensuite triés selon leur time-out respectif (`queue(messages, Liste)`).

Les priorités sont définies de P1 à P4, avec des niveaux de priorité stricts PR1 et PR2 pour les messages de catégorie proactive concernant le risque d'accident et les embouteillages (`PRPr1(queueRA, parTimeout)` et `PRPr2(queueEM, parTimeout)`), gérés en fonction de leur timeout respectif. Les priorités REPr3 et REPr4 sont attribuées aux messages de catégorie proactive concernant les pannes et les accidents (`REPr3(queuePA, parTimeout)` et `REPr4(queueAC, parTimeout)`) également triés selon leur timeout. Les messages de contrôle moins urgents sont assignés à la file de priorité relative la plus basse PR5 et sont classés en fonction de la minuterie la plus courte (`Pr5(queueCO, parMinuterie)`). Les actions correspondantes à chaque niveau de priorité sont ensuite exécutées (`Exécuter P`) pour assurer que les messages critiques.

Enfin, les messages sont diffusés sur les canaux appropriés (`diffuserMessages(Q, "CCH"` ou `"SCH")`) garantissant une gestion méthodique et priorisée l'ensemble des communications.

3.7 Conclusion

Ce chapitre a exploré en détail notre approche pour la gestion et la priorisation des messages. Notre approche repose sur des stratégies rigoureuses pour hiérarchiser et prioriser les informations en fonction de leur importance et de leur urgence, assurant ainsi une communication efficace et sécurisée dans les systèmes de transport intelligents. En intégrant des mécanismes de traitement des messages basés sur des critères de sécurité et d'efficacité, notre méthode vise à optimiser la performance du réseau tout en garantissant une réponse rapide aux événements critiques.

Le prochain chapitre se concentrera sur une analyse approfondie des performances et sur l'évaluation de notre approche.

Chapitre 4

Simulation et évaluation des performances

4.1 Introduction

Dans cette section, nous aborderons la phase de test et de validation de notre algorithme "Priority-driven Secure Message Classification". Cette étape est primordiale car elle nous permettra d'évaluer l'efficacité de notre approche par rapport à d'autres méthodes existantes. Nous présenterons les résultats obtenus illustrant l'impact positif de notre algorithme sur la gestion et la priorisation des messages critiques dans les VANETs.

4.2 Métriques considérées

Afin d'évaluer les performances de notre Algorithme nous considérons les métriques de performances décrites ci-après :

- **Temps d'exécution** : Le temps d'exécution est la durée nécessaire pour qu'un algorithme exécute les opérations nécessaires pour traiter les messages en variant le nombre de messages
- **Taux de messages livrés(PDR)** : La proportion de messages des véhicules qui sont reçus et traités par RSU par rapport au nombre total de messages émis par les véhicules.

$$\text{PDR} = \frac{\text{Nb_rsu}(\text{msg})}{\text{Nb_r}(\text{msg})} \quad (4.1)$$

où :

- $\text{Nb_rsu}(\text{msg})$ représente le nombre de messages reçus et traités par RSU.
- $\text{Nb_r}(\text{msg})$ représente le nombre de messages envoyés par les véhicules.
- **Taux de messages non classés** : la proportion de messages entrants qui n'ont pas été correctement attribués à une catégorie ou une classe prédéfinie.

$$\text{Taux de messages non classés} = \frac{\text{Nb_nc}(\text{msg})}{\text{Nb_r}(\text{msg})} \quad (4.2)$$

où :

- $Nb_nc(msg)$ représente le nombre de messages non classée par RSU.
- $Nb_r(msg)$ représente le nombre de messages reçus.
- **Débit** : C'est le nombre de messages reçus par le nœud de destination par seconde.

$$\text{Débit} = \frac{Nb_r(msg)}{T(sim)} \quad (4.3)$$

où :

- $Nb_r(msg)$ représente le nombre total de messages reçus pendant la simulation.
- $T(sim)$ représente la durée totale de la simulation.

4.3 Environnement de simulation

Notre simulation vise à évaluer l'efficacité de notre système de communication dans les réseaux de véhicules autonomes (VANETs) en particulier dans des situations de surcharge. Nous avons développé un environnement de simulation qui reproduit fidèlement les échanges d'informations entre les véhicules et RSU en prenant en compte des données telles que l'identification du véhicule, sa vitesse, sa localisation en temps réel ainsi que d'autres variables pertinentes pour la sécurité routière.

Les simulations sont développées en Java en raison de plusieurs avantages clés que ce langage offre. Java est choisi pour sa robustesse et sa capacité à gérer efficacement les opérations complexes impliquées dans la modélisation des interactions entre les véhicules autonomes et les Route Side Units (RSU). L'un des grands atouts de Java réside dans sa gestion avancée des threads, permettant une exécution simultanée et efficace des différentes tâches nécessaires à la simulation des VANETs.

Dans le cadre de notre étude nous avons sélectionné un tronçon de route urbain très fréquenté équipé d'une seule Route Side Unit (RSU). Pour simuler une surcharge de messages nous avons augmenté le nombre de véhicules circulant dans ce tronçon ce qui a pour effet d'augmenter également le nombre de messages envoyés à RSU. En effet, chaque véhicule autonome envoie des messages périodiquement qu'ils soient liés à la sécurité ou non afin de partager des informations avec la RSU. Par conséquent, une augmentation du nombre de messages équivaut à une augmentation du nombre de véhicules dans le tronçon mettant à l'épreuve la capacité de l'RSU à gérer efficacement la charge de communication. À mesure que le trafic augmente la charge des messages reçus par RSU atteint un niveau élevé simulant une situation de surcharge. Cela pourrait être dû à divers facteurs tels que des accidents sur la route, des conditions météorologiques défavorables, ou simplement à la congestion normale du trafic.

Les messages envoyés par les véhicules sont soumis à un processus de traitement et de classification au niveau des RSU. Pour ce faire nous avons développé un algorithme de classification spécifique "Priority-driven Secure Message Classification Algorithm" qui attribue des priorités en fonction de l'importance des messages. Notre algorithme met en avant les données liées à la sécurité routière assurant ainsi une réponse rapide aux incidents et une prévention efficace des accidents. Une fois les messages classés ils sont transmis via des canaux de communication sécurisés ou de haute priorité en fonction de

leur nature et de leur importance. Cette stratégie de transmission différenciée assure que les informations importantes pour la sécurité routière sont traitées en priorité, même en cas de surcharge du réseau de communication.

4.4 Évaluation de performances et discussions

Pour évaluer l'efficacité de notre approche nous l'avons comparée à celle développée par Ismail et al.[38], dans leur approche ils ont proposé un modèle de contrôle de congestion basé sur une stratégie de priorisation et de planification des messages réactifs. Leur approche classe les messages en deux catégories : les messages déclenchés par des événements et les messages de balise se concentrant principalement sur la réactivité aux incidents survenus.

Notre approche se démarque par l'introduction des messages classifiés en fonction de leur importance et de leur nature grâce à notre algorithme "Priority-driven Secure Message Classification Algorithm" on distingue les messages sécurisés des autres et de les catégoriser en messages proactifs ou réactifs. Ainsi, nous sommes capables d'identifier et de classer les messages de sécurité selon leur capacité à anticiper des incidents potentiels ou à réagir à des événements en temps réel.

Dans nos simulations, nous avons choisi de reproduire l'approche d'Ismail et al.[38], dans notre propre environnement pour garantir une comparaison équitable et rigoureuse des résultats.

4.4.1 Évaluation du Temps d'Exécution

Pour évaluer les charges de temps d'exécution nous avons mesuré le temps nécessaire à l'exécution des deux algorithmes en fonction du nombre de messages envoyés. En variant le nombre de messages.

Nombre de messages	Temps PSMCA (ms)	Temps Ismail (ms)
50	849	898
100	1342	1442
200	2564	2847
300	4056	4642
400	5113	5671
500	6884	7647

TABLE 4.1 – Temps d'exécution en fonction du nombre de messages.

4.4.1.1 Discussion des résultats

Les résultats de notre comparaison entre l'algorithme PSMCA et celui d'Ismail et al.[38], révèlent que PSMCA est systématiquement plus performant en termes de temps d'exécution surtout à mesure que le nombre de messages augmente. Comme le montre le tableau 4.1, pour un envoi de 50 messages PSMCA a un temps d'exécution de 849

ms contre 898 ms pour l'algorithme d'Ismail et al. Cette différence devient plus marquée avec l'augmentation du nombre de messages : pour 300 messages, PSMCA prend 4056 ms tandis que l'algorithme d'Ismail et al.[38], nécessite 4642 mset pour 500 messages les temps sont respectivement de 6884 ms et 7647 ms. Cette amélioration constante peut être attribuée à une meilleure gestion des ressources et à des optimisations spécifiques dans l'algorithme PSMCA réduisant sa complexité temporelle. La croissance presque exponentielle de la différence de temps d'exécution entre les deux algorithmes avec l'augmentation du nombre de messages suggère que PSMCA est particulièrement efficace dans des environnements à haute charge, où une gestion rapide et efficace des messages est importante. Les tests indiquent que l'algorithme PSMCA surpasse celui d'Ismail et al.[38], en termes de temps d'exécutio faisant de PSMCA une meilleure option pour les applications nécessitant un traitement intensif et rapide des messages.

4.4.2 Taux de messages livrés

Afin de comparer l'efficacité de la livraison des messages entre PSMCA et Ismail et al.[38], ce graphique illustre le taux de messages livrés (PDR) en fonction du nombre de messages reçus .

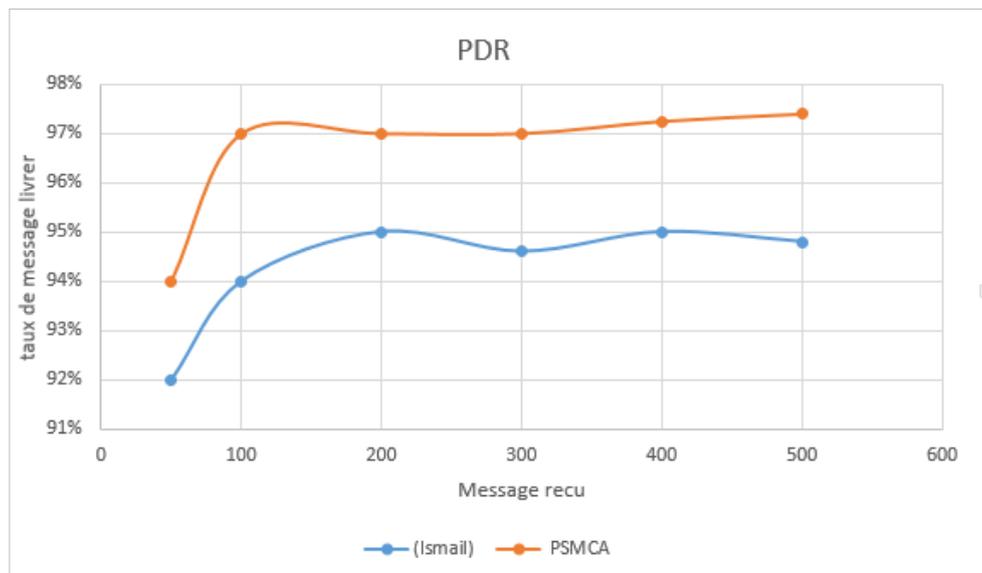


FIGURE 4.1 – Comparaison des taux de livraison de messages (PDR) entre les algorithmes PSMCA et Ismail.

4.4.2.1 Discussion des résultats

Le graphique illustre le taux de messages livrés (PDR) en fonction du nombre de messages reçus pour deux algorithmes : Ismail et al.[38], et notre algorithme PSMCA. Dès le début PSMCA affiche un taux de livraison de messages très élevé atteignant rapidement près de 97% et se stabilise autour de 97-98% tout au long de l'augmentation du nombre de messages reçus. Cela indique une robustesse et une efficacité élevées dans la gestion de la charge de communication. En revanche, l'algorithme Ismail et al.[38], commence à environ 92% et augmente progressivement atteignant un plateau autour de 94% avec

quelques fluctuations. Contrairement à PSMCA Ismail montre une légère diminution vers la fin suggérant une réduction de l'efficacité avec une surcharge de messages.

Comparativement, PSMCA dépasse nettement Ismail et al.[38], en termes de taux de livraison affichant une performance supérieure d'environ 3-4% tout au long de l'augmentation des messages reçus. PSMCA est également plus stable avec une courbe presque plate, tandis qu'Ismail et al.[38], montre des variations indiquant une sensibilité plus grande aux charges croissantes de messages d'où PSMCA démontre une supériorité claire en maintenant un taux de livraison élevé et stable même sous surcharge ce qui est important pour les réseaux de véhicules autonomes (VANETs) où la fiabilité et la rapidité de la communication sont essentielles pour la sécurité routière et l'efficacité du réseau.

4.4.3 Taux de messages non classés

Pour comparer l'efficacité de la classification des messages entre PSMCA et Ismail et al.[38], ce graphique montre comment le pourcentage de messages non classés varie en fonction du nombre total de messages reçus.

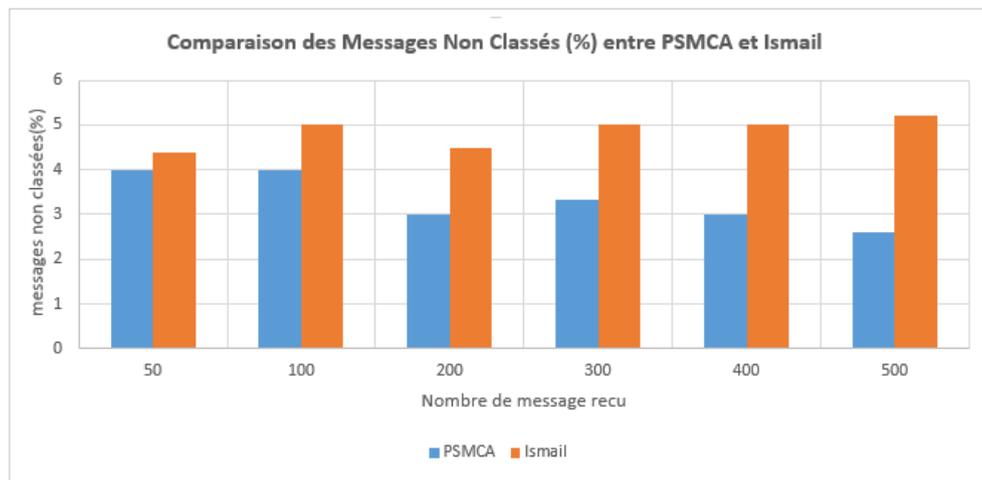


FIGURE 4.2 – Comparaison des messages non classés entre les Algorithmes PSMCA et Ismail

4.4.3.1 Discussion des résultats

Les résultats montrent que PSMCA surpasse systématiquement Ismail et al.[38], avec un taux de messages non classés maintenu entre 3% et 3,5%, contre 4,5% à 6% pour Ismail et al.[38], les avantages de PSMCA incluent une précision supérieure une robustesse et une stabilité des performances à travers différents volumes de messages. En revanche Ismail et al.[38], présente des inconvénients avec un taux de classification inférieur et une moindre fiabilité. Ces observations suggèrent que PSMCA est le choix préférable pour des applications nécessitant une haute précision dans la classification des messages.

4.4.4 Débit

Afin de comparer le débit entre PSMCA et Ismail et al.[38], ce graphique illustre le nombre de paquets de données reçus sur le temps de simulation.

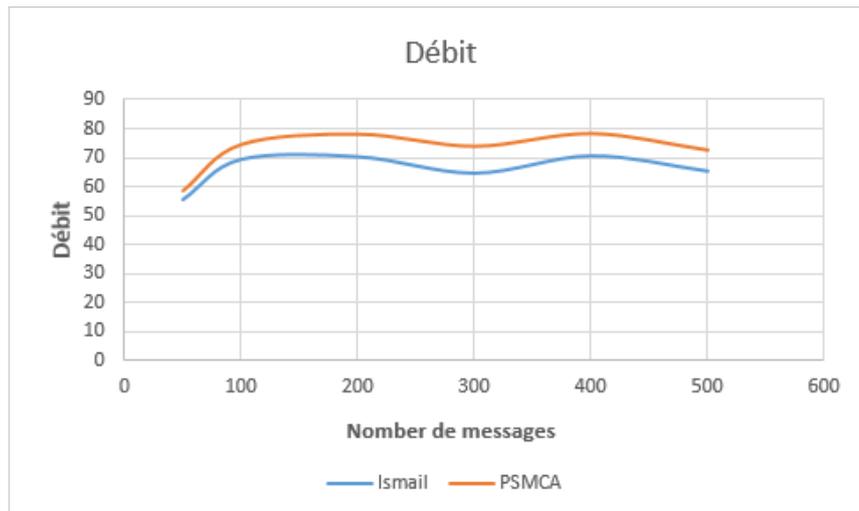


FIGURE 4.3 – Débit.

4.4.4.1 Discussion des résultats

Le graphe comparatif des débits de données entre Ismail et al.[38], et PSMCA sur une période de simulation allant de 0 à 500 messages montre que PSMCA maintient un débit supérieur et plus stable que Ismail et al.[38]. Dès les premières étapes de la simulation, PSMCA atteint rapidement environ 80 messages tandis que Ismail et al.[38], atteint environ 70 messages. Tout au long de la simulation PSMCA oscille légèrement autour de 75 à 80 messages surpassant constamment Ismail et al.[38], qui varie entre 65 et 75 messages. Ces résultats indiquent que PSMCA est plus efficace pour maintenir un débit élevé et constant ce qui est essentiel pour les Systèmes de Transport Intelligent où la fiabilité et la réactivité des communications jouent un rôle clé dans l'amélioration de la gestion du trafic et de la sécurité routière.

4.4.5 Comparaison des performances moyennes

Le tableau 4.2 présente les moyennes des quatre critères clés examinés : le temps d'exécution, le taux de messages non classés, le taux de messages livrés (PDR) et le débit, permettant une comparaison des performances entre PSMCA et Ismail et al.[38].

Critère	PSMCA	Ismail
Temps d'exécution (ms)	3468.0	3857.83
Taux de messages non classés (%)	3.32	4.85
Taux de messages livrés (PDR) (%)	96.57	94.33
Débit	72.67	65.92

TABLE 4.2 – Comparaison des performances (valeurs moyennes).

La comparaison des performances moyennes entre PSMCA et Ismail et al. [38], dans la gestion des messages met en lumière les différences significatives entre ces deux systèmes. Présenté dans le tableau 4.2 les moyennes pour quatre critères clés : le temps d'exécution moyen, le taux moyen de messages non classés, le taux moyen de messages livrés (PDR)

et le débit. Ces valeurs moyennes offrent une perspective consolidée des performances typiques observées pour chaque système dans leur traitement quotidien des messages, fournissant ainsi des indications précieuses sur leur efficacité opérationnelle respective. Donc notre proposition se démarque nettement de celle d’Ismail et al. [38], comme le démontre de façon significative le tableau récapitulatif 4.2.

4.5 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons exploré les outils utilisés pour mettre en œuvre notre approche, nous avons également détaillé notre méthodologie de test visant à évaluer les performances de notre approche par rapport aux critères définis précédemment. Les résultats ont clairement démontré que PSMCA excelle dans la gestion de la charge de communication.

Conclusion générale

Notre étude approfondie sur les réseaux de véhicules dans les Systèmes de Transport Intelligents met en évidence l'importance critique d'une gestion efficace des communications au sein de ces environnements dynamiques. À travers le développement et la validation de notre algorithme "Priority-driven Secure Message Classification Algorithm" nous avons démontré que l'intégration de critères spécifiques tels que la sécurité, l'urgence et la criticité permet d'optimiser significativement la réactivité du réseau, renforçant ainsi la sécurité routière de manière substantielle.

Notre recherche met en évidence l'importance essentielle de la priorisation des messages dans les systèmes de transport intelligents (STI), notamment en conditions de trafic dense et de charge élevée du réseau. À travers notre environnement de simulation avancé, nous avons rigoureusement évalué les performances de notre approche, confirmant son efficacité pour maintenir une communication fiable et rapide entre les véhicules. Les avantages de notre système de classification des messages sont multiples : il permet aux véhicules de prendre des décisions éclairées en temps réel, réduisant ainsi les risques pour les usagers de la route et améliorant la gestion globale du trafic. Cette avancée marque une étape décisive vers la réalisation d'un écosystème de transport intelligent optimisé pour la sécurité et l'efficacité continues. Cependant, notre travail ouvre également de nouvelles perspectives de recherche. Il serait judicieux d'explorer davantage l'intégration de technologies émergentes pour affiner la priorisation des messages et améliorer encore les performances du système. Des études approfondies sur l'impact de divers scénarios de trafic et d'environnements routiers sur notre approche sont nécessaires pour une amélioration continue de la gestion des communications dans les STI.

Notre mémoire pose des fondations solides pour une gestion améliorée des communications dans les réseaux de véhicules des STI, fournissant des solutions tangibles aux défis actuels et futurs de la sécurité et de la gestion du trafic. Nous espérons que cette recherche jouera un rôle clé dans l'avancement des transports intelligents, contribuant ainsi à créer un avenir où les technologies de communication avancées rendront les routes plus sûres et les déplacements plus efficaces, tout en favorisant un développement durable des infrastructures de transport. Cependant, notre travail ouvre également de nouvelles perspectives de recherche. Il serait judicieux d'explorer davantage l'intégration de technologies émergentes pour affiner la priorisation des messages et améliorer encore les performances du système. Des études approfondies sur l'impact de divers scénarios de trafic et d'environnements routiers sur notre approche sont nécessaires pour une amélioration continue de la gestion des communications dans les STI.

Bibliographie

- [1] Tanya GARG et Gurjinder KAUR, “A Systematic Review on Intelligent Transport Systems”. Juin 2022.
- [2] Djamel BEKTACHE. “Application et Modélisation d’un protocole de communication pour la sécurité routière”. Thèse de Doctorat 3ème Cycle LMD, Option : Réseaux et Sécurité Informatique. Thèse de doct. Faculté des Sciences de l’Ingénierat, Département d’Informatique, 2014.
- [3] Christian TCHEPNDA. “Authentification dans les Réseaux Véhiculaires Opérés”. PhD thesis. France : Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications, 2008.
- [4] G.F. MARIAS et al., “Cooperation enforcement schemes for MANETs: A survey”. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 6. P. 319-332. Mai 2006.
- [5] Saif AL-SULTAN et al., “A comprehensive survey on vehicular ad hoc network”. *Journal of network and computer applications*. 37. P. 380-392. 2014.
- [6] R NITHIAVATHY, E UDAYAKUMAR et K SRIHARI, “Survey on VANET and various applications of internet of things”. P. 75-89. 2021.
- [7] Luca VELTRI et al., “A novel batch-based group key management protocol applied to the Internet of Things”. 2013.
- [8] Stefano BUSANELLI, Gianluigi FERRARI et Luca VELTRI, “Short-lived key management for secure communications in vanets”. P. 613-618. 2011.
- [9] RSU Standardization Working GROUP. *Draft Roadside Unit (RSU) Standard*. Supported/Sponsored by the United States Department of Transportation (USDOT). Produced by the American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Institute of Transportation Engineers (ITE), and National Electrical Manufacturers Association (NEMA). 2024.
- [10] J. PETIT. “Surcoût de l’authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires”. Thèse de doct. Université Toulouse III-Paul Sabatier, 2011.
- [11] J. SANTA, A.F. GOMEZ-SKARMETA et M. SANCHEZ-ARTIGAS, “Architecture and evaluation of a unified v2v and v2i communication system based on cellular networks”. *Computer Communications*. 31. P. 2850-2861. 2008.
- [12] Q. XU et al., “Design and analysis of highway safety communication protocol in 5.9 ghz dedicated short range communication spectrum”. 4. P. 2451-2455. 2003.
- [13] Yani-Athmane BENNAI. “Contrôle d’accès et routage avec qualité de service dans les réseaux VANETs”. Thèse de doct. Université A.MIRA-BEJAIA, 2022.
- [14] Wiem BENRHAJEM. “Reliable Message Dissemination in Mobile Vehicular Networks”. Thèse de doct. Université de Montréal, Avril 2017.

-
- [15] Marco DI FELICE et al., “Enhancing the performance of safety applications in IEEE 802.11p/WAVE Vehicular Networks”. *Journal of Vehicular Technology*. 71. P. 6082-6096. 2022.
- [16] Hannes HARTENSTEIN et Kenneth LABERTEAUX. *VANET: Vehicular Applications and Internetworking Technologies*. T. 1. Wiley Online Library, 2010.
- [17] Ilya JACKSON, Maria Jesus SAENZ et Dmitry IVANOV, “From natural language to simulations: applying AI to automate simulation modelling of logistics systems”. *International Journal of Production Research*. 62. P. 1434-1457. 2024.
- [18] Steve Patrick HOSTETTLER. *High-level Petri net model checking : the symbolic way*. Contributeurs: Didier Buchs. 2011.
- [19] Alex SANSAÇON-BUCHANAN. “Vérification de spécifications temporelles linéaires pour systèmes multimodes à taux constant”. Thèse de doct. Sherbrooke, Québec, Canada : Université de Sherbrooke, mars 2024.
- [20] Julien CRISTAU. *Jeux et automates sur les ordres*. 2010. URL : <https://theses.hal.science/tel-00554026>.
- [21] Jean-François MONIN. *Introduction aux méthodes formelles*. 2^e éd. Broché. juin 1970.
- [22] M. A. Reniers J. C. M. BAETEN. *Process Algebra: Equational Theories of Communicating Processes*. Cambridge ; New York : Cambridge University Press, 2010.
- [23] C.A. Middelburg J.C.M. BAETEN. *Process Algebra with Timing*. illustrated. Monographs in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer Science & Business Media, 2013.
- [24] Wan FOKKINK. *introduction to process algebra*. illustrated. Texts in Theoretical Computer Science. An EATCS Series. Springer Science & Business Media, 2013.
- [25] Wan FOKKINK. *Introduction to Process Algebra*. 2nd. Springer-Verlag, 2007.
- [26] Guangye SUI, Mohamed MEJRI et Hatem BEN STA, “FASER (Formal and Automatic Security Enforcement by Rewriting): An algebraic approach”. P. 1-8. 2012.
- [27] S. AISSANI. “Elaboration d’un cadre formel pour le renforcement de politiques de sécurité dans les programmes”. Mémoire de magister. Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2008.
- [28] R. LASCAR. *Logique mathématique 1 - Calcul propositionnel ; algèbre de Boole*. Collection Axiomes, 1994.
- [29] T. BENSIRADJ, S. MOUSSAOUI et S. HASNI, “Proposition D’un Protocole De Communication Dans Un Réseau Hybride Pour Améliorer La Sécurité Routière”. *Département d’informatique, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene USTHB, Code postal 32 El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Algérie*. 2015.
- [30] Amira KCHAOU, Ryma ABASSI et Sihem GUEMARA EL FATMI. “Towards a Secured Clustering Mechanism for Messages Exchange in VANET”. In : *32e Conférence internationale sur les ateliers de mise en réseau et d’applications d’informations avancées*. IEEE. Tunis, Tunisie, 2018.
- [31] Xiaofeng LIU, Ben ST. AMOUR et Arunita JAEKEL, “A Reinforcement Learning-Based Congestion Control Approach for V2V Communication in VANET”. *Journal/Conference Name*. 2023.

-
- [32] Chung-Jen HSU, Joshua FIKENTSCHER et Robert KREEB, “Development of potential methods for testing congestion control algorithm implemented in vehicle-to-vehicle communications”. *Traffic Injury Prevention*. 18. S51-S57. 2017.
- [33] Arun Kumar SANGAIAH et al., “LACCVoV: Linear Adaptive Congestion Control With Optimization of Data Dissemination Model in Vehicle-to-Vehicle Communication”. *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*. 1. 2020.
- [34] Bhoopendra DWIVEDY, Anoop Kumar BHOLA et Sachin YADAV, “Cluster Based Multi Hop Data Dissemination Protocol in V2V Networks using Whale Optimization Technique”. *Journal/Conference Name*. 2019.
- [35] Ahmad ABUASHOUR et Michel KADOCH, “Control Overhead Reduction in Cluster-Based VANET Routing Protocol”. *Journal/Conference Name*. 2020.
- [36] Ahmad ABUASHOUR et Michel KADOCH, “An Enhanced Control Overhead messages Reduction Algorithm in VANET”. *Journal/Conference Name*. 2018.
- [37] Prabhakar KUMAR, Hardip Singh KATARIA et Trishita GHOSH, “Congestion control approach by reducing the number of messages in VANET”. 2015.
- [38] Noraini ISMAIL, Norihan Abdul HAMID et Mohd Nazri ISMAIL, “Enhanced Congestion Control Model Based on Message Prioritization and Scheduling Mechanism in Vehicle-to-Infrastructure (V2I)”. *Journal of Physics: Conference Series*. 2312. P. 012087. Mars 2022.
- [39] Shivaprasad MORE et Udaykumar NAI, “Novel Technique in Multihop Environment for Efficient Emergency Message Dissemination and Lossless Video Transmission in VANETS”. *Journal of Communications and Information Networks*. 3. P. 1-15. Déc. 2018.

Résumé

Avec les avancées technologiques fulgurantes de ces dernières années, la gestion des communications dans les réseaux devéhicules autonomes (VANETs) est devenue essentielle pour assurer la sécurité et optimiser l'efficacité du trafic routier. Ce mémoire se concentre sur le développement d'un algorithme de gestion et de priorisation des messages PSMCA visant à éliminer la surcharge du réseau et à prioriser les messages critiques. À travers des simulations détaillées, notre approche a démontré son efficacité en améliorant la réactivité du réseau et en optimisant la transmission d'informations essentielles. Ces résultats ouvrent des perspectives prometteuses pour l'avenir des transports intelligents, visant à renforcer la sécurité et l'efficacité des VANETs dans des environnements routiers de plus en plus complexes et dynamiques.

Mots clés : STI,VANET,BPA,CBPA.

Abstract

With the meteoric technological advances of recent years ,managing communications in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANETs) has become essential to ensure safety and optimize traffic efficiency. This thesis focuses on developing a Priority-based Self-organizing Message Communication Algorithm (PSMCA) to alleviate network congestion and prioritize critical messages. Through detailed simulations, our approach has demonstrated its effectiveness by improving network responsiveness and optimizing the transmission of crucial information . These findings promise significant advancements for the future of intelligent transportation systems, aiming to enhance safety and efficiency of VANETs in increasingly complex and dynamic road environments.

Key words :STI,VANET,BPA,CBPA.