

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS - MOSTAGANEM



Faculté des Sciences Exactes et d'Informatique

Département de Mathématiques et informatique

Filière : Informatique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du Diplôme de Master en Informatique

Option : **Réseaux et Systèmes**

Présenté par :

Abdoulaye Salifou Mahamadou Noura

THEME :

Etude comparative entre les techniques de clustering dans
un réseau VANET

Soutenu le : 24-06-2023

Devant le jury composé de :

SEHABA Karim	Université de Mostaganem	Président
BENKERDAGH Saliha	Université de Mostaganem	Examineur
BAHNES Nacéra	Université de Mostaganem	Encadreur

Année Universitaire 2022-2023

Dédicaces

Je tiens à dédier ce mémoire à mes parents qui ont été une source inépuisable de soutien, d'encouragement et d'amour tout au long de ce parcours académique. À mon **père**, dont la sagesse, les conseils et la persévérance m'ont guidé et inspiré, je suis profondément reconnaissant. Sa présence constante et son dévouement à mon égard ont été essentiels pour me permettre d'atteindre mes objectifs.

Et à ma **mère**, femme exceptionnelle au cœur généreux, dont le soutien indéfectible, la patience et les encouragements sans faille ont été ma force motrice. Sa présence bienveillante et ses sacrifices inestimables ont été le pilier sur lequel j'ai pu m'appuyer tout au long de cette aventure académique. Leur amour inconditionnel, leurs valeurs et leur dévouement ont été une source d'inspiration constante. Leur confiance en moi et leurs encouragements ont dissipé tous les doutes et les obstacles rencontrés sur ce chemin. Leur soutien indéfectible a été la clé de ma réussite.

À travers cette dédicace, je souhaite exprimer toute ma gratitude et ma reconnaissance envers mes parents pour leur amour, leur patience et leur soutien inconditionnel. Ce mémoire leur est dédié avec une profonde affection et une reconnaissance éternelle. Que mes accomplissements puissent être une humble reconnaissance de l'amour, du soutien et des sacrifices qu'ils ont prodigués tout au long de ma vie. Je suis fier de pouvoir les appeler mes parents et je leur suis infiniment reconnaissant d'avoir été mes piliers tout au long de cette aventure. Je les honore et les remercie du fond du cœur pour tout ce qu'ils ont fait et continuent de faire pour moi. Je suis profondément reconnaissant d'avoir été béni par leur présence dans ma vie.

À mes parents, je dédie ce mémoire en témoignage de mon amour, de ma gratitude éternelle et de ma reconnaissance infinie.

Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à Madame **BAHNES NACERA**, qui a joué un rôle essentiel en tant que mon encadrante de mémoire. Sa guidance, son expertise et ses précieux conseils m'ont permis de mener à bien ce travail de recherche. Son dévouement, sa disponibilité et sa bienveillance ont été d'une grande aide tout au long du processus.

Je souhaite également remercier chaleureusement tous les autres enseignants qui ont contribué à ma formation et à la réalisation de ce mémoire. Leur expertise, leur soutien et leurs précieux commentaires ont grandement enrichi mon travail. Leur passion pour l'enseignement et leur engagement envers leurs étudiants sont une source d'inspiration.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance envers mes camarades de promotion et mes amis qui ont été présents à chaque étape de ce parcours. Leurs encouragements, leur soutien moral et leur collaboration ont été d'une valeur inestimable.

Enfin, je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers ma famille et mes proches pour leur amour, leur soutien indéfectible et leur compréhension tout au long de cette aventure académique. Leur présence et leurs encouragements constants ont été une source de motivation inestimable.

Mes remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire et qui ont enrichi mon expérience universitaire. Votre soutien a été essentiel, et je vous en suis extrêmement reconnaissant.

Résumé

Les réseaux véhiculaires (VANET : Vehicular Ad-hoc Network) sont des réseaux sans fil ad hoc qui permettent la communication entre les véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure routière. Leur objectif principal est d'améliorer la sécurité routière et d'assurer l'efficacité du transport.

Dans ce contexte, le clustering est une technique de gestion de réseau qui consiste à organiser l'ensemble des nœuds du réseau en clusters, où chaque cluster est formé par un sous-groupe de nœuds comprenant un chef de cluster et un ensemble de membres. Le clustering permet de structurer, hiérarchiser et réduire le nombre de paquets transmis dans le réseau, ce qui améliore l'efficacité de la communication, un aspect crucial dans un environnement où les ressources de communication sont limitées.

Il existe deux classes de techniques de clustering : le clustering à 1-saut et le clustering à plusieurs sauts (k-sauts). Le clustering à 1-saut consiste à diviser le réseau en clusters de véhicules, où les membres d'un cluster sont en communication directe avec leur chef de cluster. En revanche, le clustering à k-sauts consiste à diviser le réseau en clusters de véhicules, où le chef de cluster est accessible à k-sauts.

Dans le cadre de notre travail, nous allons programmer et comparer deux techniques de clustering dans les réseaux VANET : le SHS-HS (Single-Hop Clustering based on Highest Speed), qui est un algorithme de clustering à 1-saut, et le 2HC-HS (2-Hop Clustering based on Highest Speed), qui est un algorithme de clustering à 2-sauts. Notre objectif est d'évaluer les performances de ces deux techniques et de déterminer celle qui offre les meilleurs résultats dans un environnement VANET.

Mots-clés: VANET, Clustering, k-saut, SHS-HS, 2HC-HS.

Abstract

Vehicular Ad-hoc Networks (VANETs) are ad-hoc wireless networks that enable communication between vehicles and between vehicles and the road infrastructure. Their primary objective is to enhance road safety and ensure transportation efficiency.

In this context, clustering is a network management technique that involves organizing the network nodes into clusters, where each cluster is formed by a subgroup of nodes consisting of a cluster head and a set of members. Clustering helps structure, hierarchize, and reduce the number of packets transmitted in the network, thereby improving communication efficiency, which is crucial in an environment with limited communication resources.

There are two classes of clustering techniques: 1-hop clustering and multi-hop clustering (k-hop). 1-hop clustering involves dividing the network into clusters of vehicles, where the members of a cluster have direct communication with their cluster head. On the other hand, k-hop clustering divides the network into clusters of vehicles, where the cluster head is accessible within k hops.

In our work, we will program and compare two clustering techniques in VANETs: SHS-HS (Single-Hop Clustering based on Highest Speed), which is a 1-hop clustering algorithm, and 2HC-HS (2-Hop Clustering based on Highest Speed), which is a 2-hop clustering algorithm. Our objective is to evaluate the performance of these two techniques and determine which one provides the best results in a VANET environment.

Keywords: VANET, Clustering, k-saut, SHS-HS, 2HC-HS.

Liste des figures

Figure 1– Les réseaux sans fil à infrastructure	6
Figure 2– Echange en mode ad-hoc	7
Figure 3 – Aperçu d’un réseau VANET	8
Figure 4 – Les entités de communication VANET	9
Figure 5 – Les modes de communication dans les VANETs.....	10
Figure 6 – Protocoles de routage dans les réseaux VANET	13
Figure 7 – Le modèle DSRC/WAVE.....	17
Figure 8 – Structure d’un cluster.....	21
Figure 9 – Procédure générale des algorithmes basés sur le clustering	23
Figure 10 – exemple d'un modèle multi saut.....	27
Figure 11 – algorithme PMC	28
Figure 12 – Structure des nœuds	34
Figure 13 . Algorithme de la phase de transmission périodique de message de contrôle	36
Figure 14 Algorithme de la réception de message de contrôle	37
Figure 15. Algorithme de sélection de CH.....	38
Figure 16. Algorithme de la procédure de maintenance	39
Figure 17 Architecture modulaire omnet++.....	40
Figure 18 . Importation de Veins	41
Figure 19. Commande pour lancer une instance SUMO.....	42
Figure 20. Exécution de Omnetpp.ini	43
Figure 21 Carte routière	43
Figure 22 Simulation du réseau.....	44
Figure 23 Nombre de cluster en fonction du temps et du rayon de transmission	45
Figure 24 Durée moyenne sans cluster en fonction du temps de maintenance.....	46
Figure 25. Durée de vie moyenne d'un CM dans un cluster	47
Figure 26 Nombre de message	48

Liste des tableaux

Tableau N°	Titre du tableau	Page
Tableau 1	Comparaison entre les algorithmes étudiés	30
Tableau 2	Les différents états d'un véhicule	35
Tableau 3	Paramètre de simulation	44

Liste des abréviations

Abréviation	Expression Complète	Page
VANET	Vehicular Ad hoc Networks	5
V2V	Vehicle to Vehicle	7
V2I	Vehicle to Infrastructure	8
TA	Trusted Authority	8
RSU	Road Side Unit	8
OBU	On-Board Unit	8
GPS	Global Positioning System	8
CA	Autorité de Confiance	9
WIFI	wireless fidelity	11
OLSR	Optimized Link State Protocol	12
GSR	Global State Routing	12
DSDV	Destination-Sequenced Distance-Vector	12
DSR	Dynamic Source Routing	12
AODV	Ad-Hoc On- demand Distance Vector	12
DTN	Delay Tolerant Network	15
ZRP	Zone Routing Protocol	14
VADD	Vehicle-Assisted Data Delivery	15

GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing	15
GyTAR	Greedy Traffic Aware Routing protocol	15
CBLR	Cluster Based Location Routing	24
CBDRP	Cluster-Based Directional Routing Protocol	15
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments	16
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	16
OSI	Open Systems Interconnection	17
RM	Resource Manager	17
MAC	Media Access Control	17
EDCA	Enhanced Distributed Channel Access	24
AC	Access Category	24
CH	Chef de Cluster	20
CM	membres du cluster	20
GW	nœuds passerelles	20
HEED	Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering	25
HCC	Highest Connectivity Cluster	25
MOSIC	Mobile Sink-Enabled Overlapping Clustering	25
NC	non clusterisé	25
CFV	véhicule formant un cluster	25
TCM	CM temporaire	26
MHEED	Modified Clustering based on Direction in Vehicular Environment	27
PMC	Passive multi-hop clustering	27
SE	State Election	28

VMaSC	Vehicular Multi-hop algorithm for Stable Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks	29
CDS	Connected Dominating Set	24
SHC-HS	Single-Hop Clustering based on Highest Speed	33
2HC-HS	2-Hop Clustering based on Highest Speed	33
Veins	Vehicles in Network Simulation	40
SUMO	Simulation of Urban Mobility	41

Table des matières

Introduction Générale	3
Chapitre 1	5
Les réseaux VANETS	5
1.1 Introduction	5
1.2 Les réseaux sans fil	5
1.2.1 Les réseaux sans fil à infrastructure	5
1.2.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure (Ad-hoc)	6
1.2.3 Les différents types de réseaux ad-hoc	7
1.3 VANET	7
1.4 Architecture des réseaux VANETs	8
1.5 Les modes de communication des réseaux VANETs	9
1.5.1 Communication véhicule à véhicule (V2V)	10
1.5.2 Communication véhicule à infrastructure	10
1.5.3 La communication hybride	11
1.6 Caractéristiques des réseaux VANETs	11
1.7 Protocoles de routage dans les réseaux VANET	12
1.7.1 Les protocoles basés sur la topologie	12
1.7.2 Protocoles de routage basé sur la géographie	14
1.7.3 Les protocoles de routage basés sur les clusters (groupes)	15
1.7.4 Les protocoles de routage basés sur la diffusion	16
1.8 Travaux de standardisation et de normalisation	16
1.9 Domaines d’application des VANETs	18
1.10 Conclusion	19
Chapitre II :	20
2.1 Introduction	20
2.2 Clustering	20
2.3 Cluster	20
2.4 Procédure générale des algorithmes basés sur le clustering	21
2.5 Protocoles de routage basés sur le Clustering dans les réseaux VANETS	23
2.5.1 CDS (Connected Dominating Set)	23
2.5.2 CBLR (Cluster Based Location Routing)	24

2.6	Etude de quelques algorithmes de Clustering dans les réseaux VANET	24
2.6.1	Les algorithmes de clustering à 1-saut	24
2.6.2	Les algorithmes de clustering à K-sauts	26
2.7	Comparaison des algorithmes étudiés	29
2.8	Métriques d'évaluation des performances des algorithmes de clusterisation	31
2.9	Conclusion	32
Chapitre 3		33
3.1	Introduction	33
3.2	Descriptions des algorithmes	33
3.3	Fonctionnements des algorithmes	34
3.3.1	Procédure d'initialisation	35
3.3.2	Procédure de sélection de CH	37
3.3.3	Procédure de Maintenance	38
3.4	Simulation	39
3.4.1	OMNET++	39
3.4.2	Veins (Vehicles in Network Simulation)	41
3.4.3	SUMO (Simulation of Urban Mobility)	41
3.4.4	Instructions d'installation de l'IDE OMNeT++ et lien avec veins :	41
3.4.5	Implémentation de l'algorithme 2HC-HS	42
3.4.6	Le scénario	44
3.4.7	Paramètre de simulation	44
3.5	Les résultats	45
3.5.1	Le nombre des clusters	45
3.5.2	Délai d'attente moyen	46
3.5.3	Durée de vie moyenne d'un véhicule dans un cluster	46
3.5.4	Nombre des messages Hello	48
3.6	Conclusion	48
Conclusion Générale et perspectives		50
Bibliographie		51

Introduction Générale

L'étude comparative entre les techniques de clustering dans un réseau VANET (Vehicular Ad hoc Networks) constitue un domaine de recherche essentiel pour optimiser les performances des systèmes de transport intelligents. Dans un environnement dynamique tel que celui des réseaux ad hoc véhiculaires, le regroupement des véhicules en clusters permet une gestion efficace des communications et des ressources. Cependant, il existe différentes approches de clustering qui présentent des avantages et des inconvénients spécifiques. Cette étude vise à analyser et comparer ces techniques de clustering dans le contexte des réseaux VANET, en évaluant leurs performances. Ce rapport est organisé en trois chapitres :

Le chapitre 1 introduit les réseaux VANETs, qui sont des réseaux de communication sans fil pour les véhicules. Ces réseaux permettent aux véhicules de communiquer entre eux et avec d'autres infrastructures pour offrir divers services liés à la sécurité routière et à la collecte d'informations sur les conditions de circulation. Il présente l'architecture des VANETs, les modes de communication utilisés, les caractéristiques uniques de ces réseaux et les protocoles de routage associés. Il aborde également les travaux de standardisation et explore les différentes applications de ce type de réseau.

Le deuxième chapitre traite le clustering dans les réseaux VANETs. Il présente une explication du concept de clustering, en décrivant les différentes entités présentes dans un cluster et la procédure générale des algorithmes basés sur le clustering. Par la suite, le chapitre aborde les protocoles de routage basés sur le clustering spécifiques aux réseaux VANETs, ainsi que quelques techniques de clustering à un saut et à k-saut.

Dans le chapitre 3, nous présentons une extension de l'algorithme de clustering à un saut SHC-HS proposé par LAZREUG FATIMA ZOHRA et KOUADRI AMINA [57]. Cette extension, appelée 2HC-HS, introduit un clustering à deux sauts pour améliorer la formation des clusters et la stabilité. Nous décrivons en détail le fonctionnement des deux algorithmes, qui utilisent la vitesse des véhicules pour sélectionner les chefs de cluster. Nous expliquons également les procédures d'initialisation, de sélection des chefs de cluster et de maintenance des clusters. Enfin, nous présentons la simulation réalisée à l'aide des simulateurs OMNET++, VEINS et SUMO pour

évaluer les performances des deux algorithmes. Nous terminerons ce rapport par une conclusion générale et quelques perspectives.

Chapitre 1

Les réseaux VANETS

1.1 Introduction

Les réseaux VANETs (Vehicular Ad hoc Networks) sont des réseaux de communication sans fil pour les véhicules. Ils permettent aux véhicules de communiquer entre eux et avec d'autres infrastructures, telles que les réseaux de télécommunications, pour offrir une variété de services tels que la sécurité routière, la surveillance, le collecte des informations sur les conditions de circulation, etc. Les réseaux VANETs utilisent la technologie ad-hoc, ce qui signifie qu'ils n'ont pas besoin d'infrastructure fixe pour fonctionner et peuvent se former dynamiquement lorsque les véhicules se déplacent.

AU début de ce chapitre, nous allons définir ce qu'est un réseau VANET et présenter son architecture. Ensuite, nous étudierons les caractéristiques et les modes de communication des VANETs. Nous nous intéresserons également aux protocoles de routage utilisés dans ces réseaux. Par la suite, nous évoquerons les travaux de standardisation et de normalisation dans le domaine des VANETs. Enfin, nous passerons en revue les domaines d'application des réseaux VANETs.

1.2 Les réseaux sans fil

Un réseau dans lequel au moins deux terminaux peuvent communiquer sans liaison filaire grâce aux ondes radios qui sont utilisées comme moyen de connexion et de communication entre les différents équipements, ceci permet aux utilisateurs de se déplacer dans un périmètre plus ou moins étendu [1]. En général, les réseaux sans fil peuvent être organisés en deux principales classes à savoir : les réseaux sans fil à infrastructure et les réseaux sans fil sans infrastructure (Ad-hoc) [1].

1.2.1 Les réseaux sans fil à infrastructure

Un réseau sans fil à infrastructure est un type de réseau sans fil qui utilise une ou plusieurs stations de base pour fournir une couverture réseau. Comme montré dans la figure 1, les appareils sans fil se connectent à un point d'accès sans fil pour accéder à internet ou à d'autres réseaux locaux. Ce type de réseau est souvent utilisé dans les environnements de travail, les établissements

d'enseignement et les centres de données pour fournir une connectivité internet fiable et à large bande passante [2].

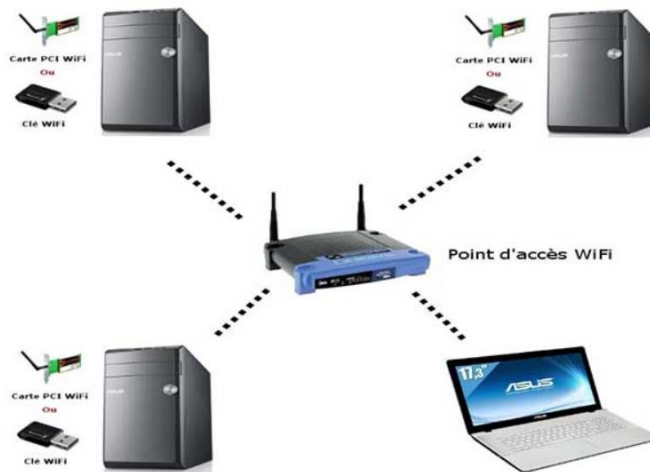


Figure 1– Les réseaux sans fil à infrastructure [46].

1.2.2 Les réseaux sans fil sans infrastructure (Ad-hoc)

Réseaux sans fil ad-hoc est un type de réseau sans fil décentralisé, c'est-à-dire un réseau où il n'existe pas de point d'accès, chaque nœud participe au routage en retransmettant les données aux autres nœuds, de façon que le choix du nœud qui va transmettre les données est fait dynamiquement sur la base de la connectivité du réseau et de l'algorithme de routage utilisé. Pour cela, il est d'abord primordial que les entités se situent les unes par rapport aux autres, et soient capables de construire des routes entre elles : c'est le rôle du protocole de routage [3].

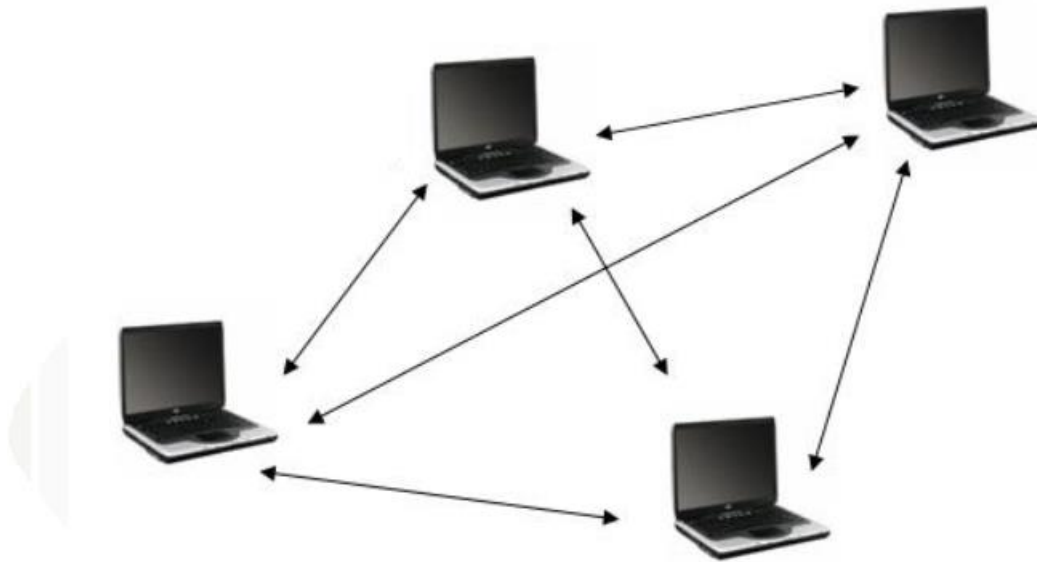


Figure 2– Echange en mode ad-hoc [47]

1.2.3 Les différents types de réseaux ad-hoc

Il existe une multitude de réseaux ad-hoc, dont voici quelques-uns :

- Spans pour les smartphones,
- Manets (Mobile Ad-hoc network)
- VANETs (réseaux véhiculaires)
- etc [4].

Ainsi par la suite, nous allons nous intéresser de plus près aux réseaux VANETs.

1.3 VANET (Vehicular Ad Hoc Networks)

Le réseau ad-hoc véhiculaire, connu sous le nom de VANET, est un réseau auto-organisé formé par un ensemble de véhicules en mouvement [5]. C'est une nouvelle technologie émergente des réseaux Ad-hoc mobiles (MANETs) où les nœuds mobiles sont des véhicules connectés.

Ces véhicules connectés sont équipés de dispositifs de perception de l'environnement (radars, caméras), un système de localisation GPS, et bien sûr une plateforme de traitement. Ces types de réseaux permettent d'établir des communications entre véhicules (V2V : Vehicle to

Vehicle) ou bien avec une infrastructure (V2I ; Vehicle to Infrastructure) située aux bords des routes [6] (Voir la figure ci-dessous).

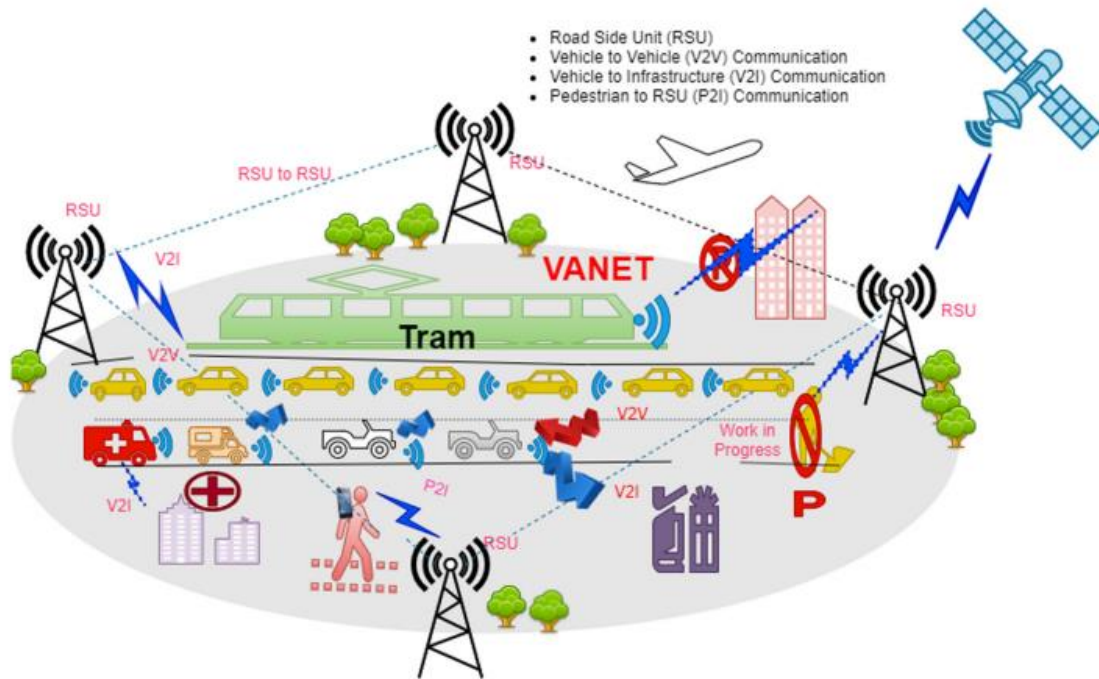


Figure 3 – Aperçu d'un réseau VANET [48]

1.4 Architecture des réseaux VANETs

Un réseau VANETs est constituée de trois entités essentiel pour établir la communication qui sont : TA (Trusted Authority), RSU (Road Side Unit), OBU (On-Board Unit) [7].

- **RSU** : Ce sont subordonnées des TA. Elles sont installées au bord des routes. Elles peuvent être principalement, des feux de signalisation, des lampadaires ou autres. Leur principale responsabilité est de soutenir la TA dans la gestion du trafic et des véhicules. Elles représentent des points d'accès au réseau et aux différentes informations sur la circulation [8].

- **OBU (On-Board Unit)** : Ce sont des unités embarquées dans les véhicules, elles regroupent un ensemble de composants matériels et logiciels de hautes technologies (GPS, radar, caméras, différents capteurs et autres). Leurs rôles sont d'assurer la localisation, la réception, le calcul, le stockage et l'envoi des données sur le réseau. Ce sont des émetteurs-récepteurs qui assurent la connexion du véhicule au réseau [9].

- **TA (Trusted Authority)** : C'est une source d'authenticité de l'information. Elle assure la gestion et l'enregistrement de toutes les entités sur le réseau (RSU et OBU). La TA est responsable de posséder toutes les informations authentiques concernant les identités des véhicules et de les communiquer aux forces de l'ordre si nécessaire. Elle est également connue sous le nom de CA (Autorité de Confiance) [10].

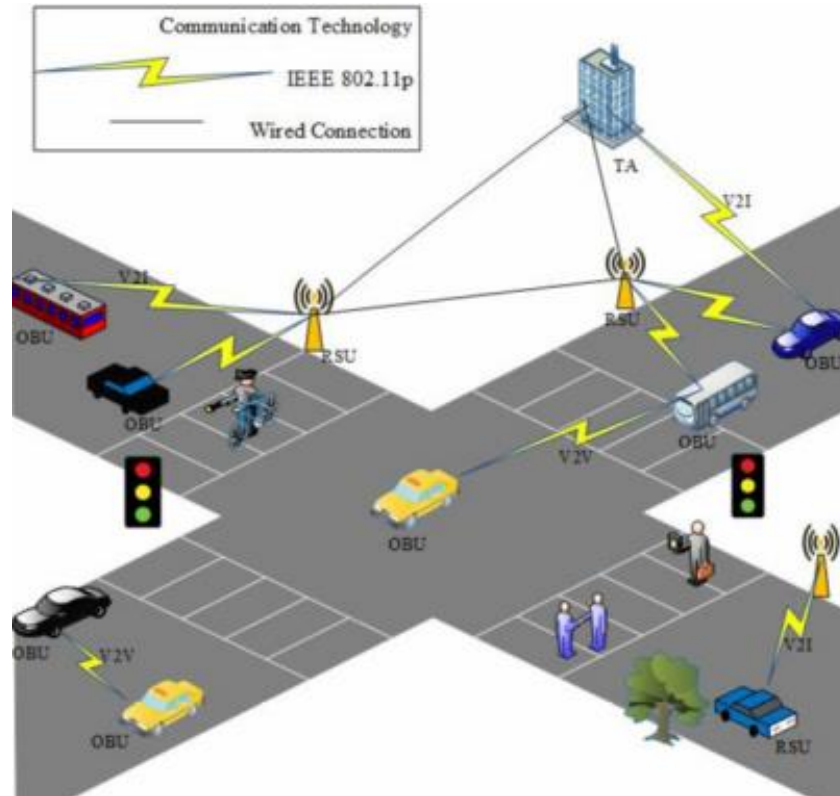


Figure 4 – Les entités de communication VANET[50]

1.5 Les modes de communication des réseaux VANETs

Les réseaux VANET utilisent des différents types de communications pour passer des informations entre les différentes entités. Cette communication peut être : communications véhicule à véhicule (V2V), véhicule à infrastructure et la communication hybride qui résulte de La combinaison entre les deux types de communications suscitées. [11, 12, 13]

1.5.1 Communication véhicule à véhicule (V2V)

Dans ce type de communication un véhicule communique directement avec un autre sans l'aide d'une infrastructure à condition que ce véhicule soit dans la zone de couverture (zone radio). Lorsqu'un véhicule souhaite communiquer avec un autre et que ce dernier ne figure pas dans sa zone de couverture, il peut faire appel à d'autres véhicules pour jouer le rôle des nœuds de relais. Ce type de communication fonctionne à l'aide des dispositifs installés dans les véhicules OBU (On-Board Unit), suivant une architecture décentralisée.

1.5.2 Communication véhicule à infrastructure

La communication véhicule à infrastructure permet l'échange entre des véhicules et des stations (point d'accès) déployés au bord de la route. Ainsi ces derniers pourront accéder aux différents ressources partagés et de démultiplier les services fournis (exemple : échange de données de voiture-à-domicile, accès à Internet etc.). La communication véhicule à infrastructure (V2I) assure une connectivité relativement forte par rapport à la communication en mode V2V (véhicule à véhicule). Comme elle assure une meilleure utilisation des ressources du réseau (figure 5).

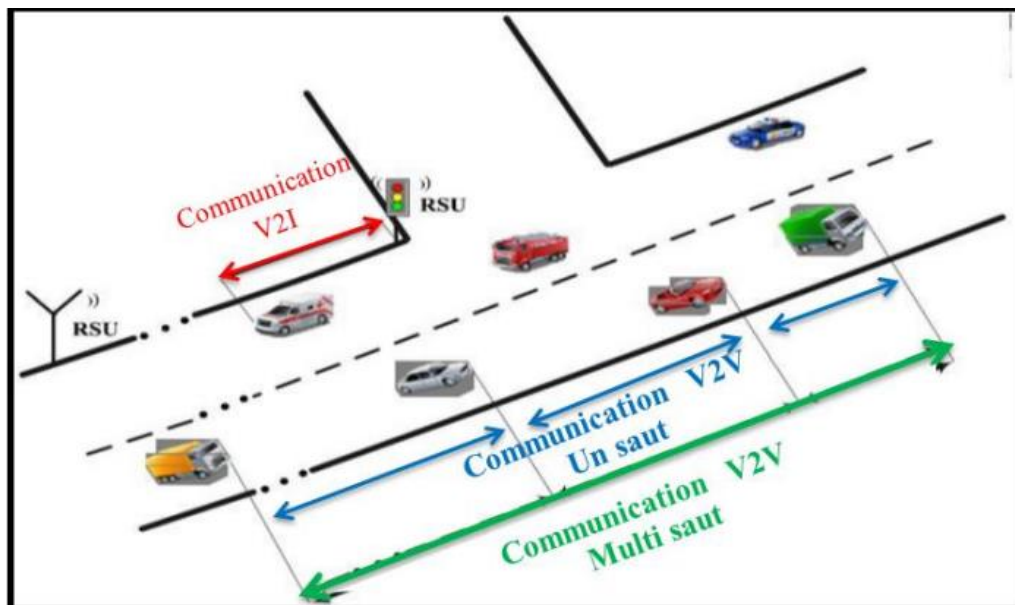


Figure 5 – Les modes de communication dans les VANETs[51]

1.5.3 La communication hybride

La communication hybride est tout simplement la combinaison de ces deux types de communications. En effet, les infrastructures ayant une portée limitée, l'utilisation de véhicules comme relais permet d'étendre cette distance. Dans un but économique et en évitant de multiplier les bornes à chaque coin de rue, l'utilisation de sauts par véhicules intermédiaires prend toute son importance.

1.6 Caractéristiques des réseaux VANETs

Les réseaux VANETs se distinguent des réseaux Ad hoc mobile auxquels ils sont dérivés avec des caractéristiques très intéressantes dont voici quelques-unes :

- **Capacité et autonomie d'énergie**

Les réseaux VANETs présentent une grande capacité d'énergie grâce à leurs systèmes d'alimentations. Ce n'est pas le cas d'autres types d'appareils dans les réseaux sans fil, qui causent une grande préoccupation concernant la limite de leurs batteries.

- **Communication, traitement et stockage**

Les véhicules sont caractérisés par la diversification de leurs modes de communications, car ils sont équipés de différentes interfaces (WIFI, Bluetooth, Radio et autres). Il en résulte une grande capacité de traitement et de stockage des données, qui est garantie par les nouvelles technologies et les nombreuses puces électroniques puissantes qui sont installées dans les véhicules.

- **Topologie et connectivité**

Dans les réseaux VANETs la topologie est dynamique et constituée de plusieurs groupes séparés car un véhicule peut rejoindre ou quitter un groupe de véhicules dans un laps de temps, ce qui mène à une réorganisation de la topologie.

- **Modèle de mobilité**

Le modèle de mobilité des réseaux VANET dépend de la vitesse des véhicules et leurs mouvements aléatoires, qui peuvent fortement réduire la durée des communications et leurs comportements par rapport aux obstacles. Ainsi le mode de mobilité est lié à la diversité environnementale et les infrastructures routières.

1.7 Protocoles de routage dans les réseaux VANET

Les protocoles de routage déterminent comment les différentes entités du réseau échangent en permanence des informations relatives à la topologie et à l'état des liens dans le but de garder une table de routage à jour et de déterminer les meilleures routes en fonction de l'encombrement du réseau permettant d'assurer la connectivité du réseau.

On peut donc diviser en 4 les protocoles de routage dans les réseaux VANETs [14] voir figure 6:

- Les protocoles qui se basent la topologie.
- Les protocoles qui se basent sur la position géographique.
- Les protocoles basés sur les clusters.
- Les protocoles basés sur le mode de diffusion

1.7.1 Les protocoles basés sur la topologie

En effet ce type protocole utilisent les informations existant entre les nœuds pour acheminer les paquets. Ils sont subdivisés en trois groupe : proactifs, réactifs et hybrides. [15]

Les protocoles basés sur la topologie génèrent un nombre conséquent de messages de contrôle pour l'établissement et le maintien des routes

1.7.1.1 Les protocoles proactifs

Les protocoles proactifs sont des protocoles qui ont pour principe de calculer les routes à l'avance.

Dans ce type de protocole chaque nœud garde en image la topologie de tous le réseau, cette image est mise à jour par un envoi périodique des paquets de contrôle pour maintenir la table de routage à jour, ce qui fait que lorsqu'un nœud désire envoyer un paquet à un autre, une route est immédiatement connue. Ce processus est exécuté à chaque changement de topologie. Voici quelques protocoles basés sur ce type de principe : OLSR, GSR, DSDV.

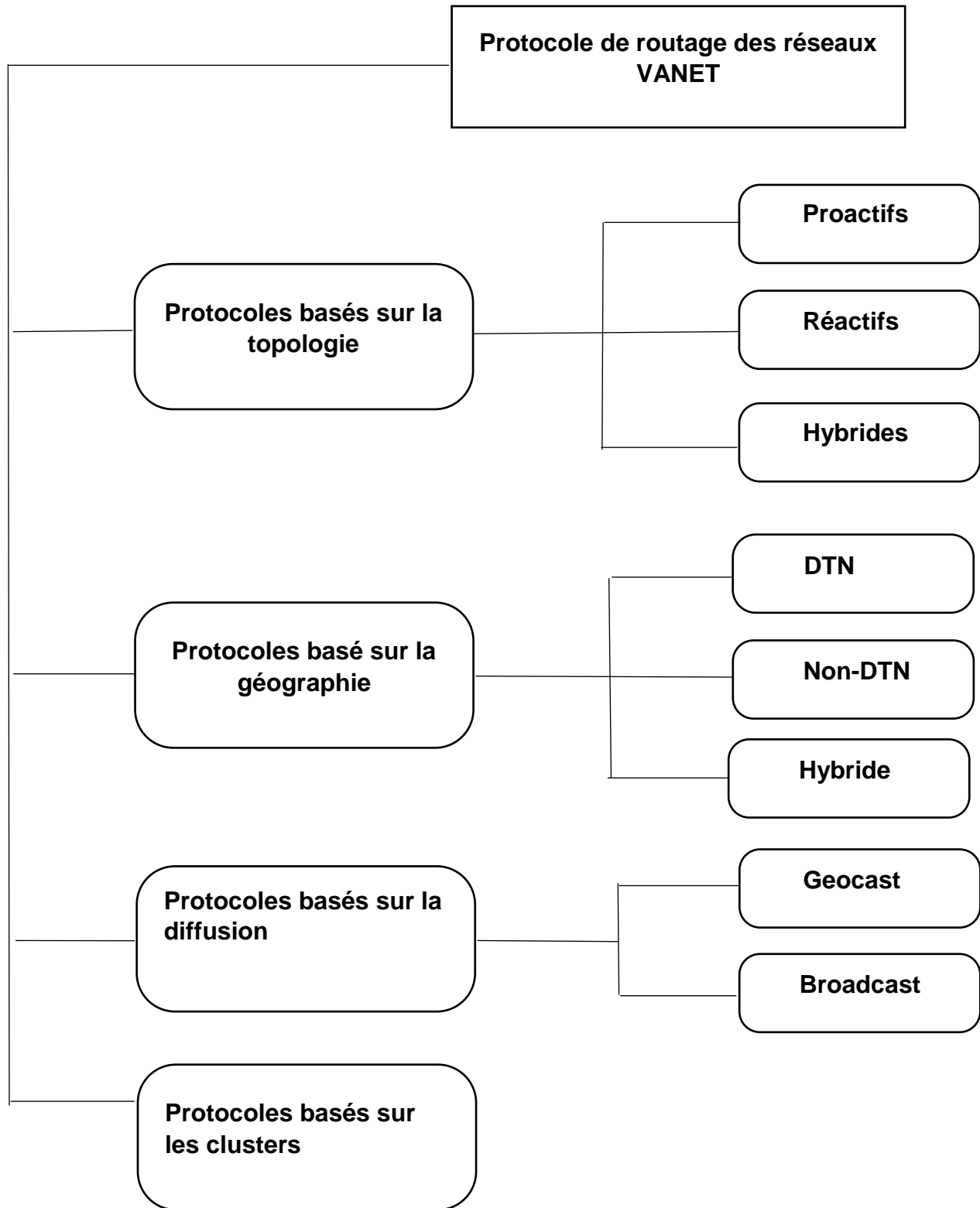


Figure 6 – Protocoles de routage dans les réseaux VANET

1.7.1.2 Protocoles Réactifs

Dans ces types de protocoles, le processus de recherche de route n'est déclenché que lorsque cela est nécessaire. Cela permet d'économiser de la bande passante et de l'énergie [16] Pour transité un paquet d'un nœud à un autre, le protocole cherche un chemin jusqu'à destination, Lorsque le chemin est retrouvé, il est inscrit dans la table de routage et réutilisable tant que le chemin est disponible (utilisable) [17].

Pour découvrir une route, un message est diffusé et tous les nœuds ayant reçu n'ayant pas d'information sur ce nœud rediffuse le message à leurs tours [18]. Les protocoles basés sur ces principes sont : DSR, AODV. [15]

1.7.1.3 Protocoles hybrides

Ces protocoles combinent les approches précédentes. Pour connaître le plus proche voisin, ils utilisent le protocole proactif ce qui fait qu'ils disposent des routes dans le voisinage au-delà de cette zone prédéfinie le protocole fait appel aux techniques des protocoles réactifs pour trouver des routes. Ces protocoles s'adaptent plus aux réseaux de grandes tailles mais cumule les inconvénients des protocoles proactifs et réactifs, tels que l'échange de paquets de contrôle réguliers et inondations de l'ensemble de réseau pour chercher une route vers un nœud éloigné.

Parmi ces protocoles on peut citer : ZRP [15]

1.7.2 Protocoles de routage basé sur la géographie

Encore appelé des protocoles basés sur la position, Ils utilisent les données géographiques pour acheminé les informations vers leurs destinations (par exemple, les coordonnées fournis par GPS afin de trouver un chemin). Les entêtes des paquets à envoyés par les nœuds sources contiennent l'identifiant et la destination, ainsi les nœuds ayant ces paquets utilisent ces informations géographiques incluses dans ces derniers et celles disponibles dans leurs tables de routage pour retransmettre les paquets et répètent le même mécanisme jusqu'à ce que celui-ci atteigne la destination. Ils ont un avantage majeur du fait qu'ils utilisent moins de paquets de contrôles dans les réseaux larges et dynamiques par rapport aux protocoles de routages basés sur la topologie. Les protocoles basés sur la géographie peuvent être scindés en 3 catégories [19].

1.7.2.1 Les protocoles géographiques tolérant aux délais (DTN)

En anglais ils sont appelé Delay Tolérant Network, ce type de protocole prend en considération la déconnectivité. Lorsqu'un nœud envoie un paquet dans ce protocole et qu'il y'a aucune route complète le reliant à celui du nœud destinataire à cet instant, le protocole est mise en mémoire jusqu'à ce que cette dernière soit disponible. Il est possible que les paquets soit transités aussi de proche en proche dans l'espoir qu'un nœud puisse être à la portée du destinataire (Exemple : protocole VADD). [15]

1.7.2.2 Les protocoles géographiques non tolérant aux délais (non-DTN)

Le principe fondamental de cette approche est qu'un nœud transmet son paquet à son voisin le plus proche de la destination. La stratégie de transfert peut échouer si aucun voisin n'est plus proche de la destination que le nœud lui-même. Dans ce cas, on dit que le paquet a atteint le maximum local au nœud puisqu'il a fait la progression locale maximale au nœud courant [20] (Exemple: GPSR, GyTAR). [15]

Ces protocoles combinent les deux approches précédentes pour exploiter la connectivité partielle. GéoDTN+NAV (Geographic DTN Routing with Navigator Prediction for Urban Vehicular Environments).

1.7.3 Les protocoles de routage basés sur les clusters (groupes)

Les protocoles de routage basés sur les clusters utilisent les véhicules à proximités pour former des groupes ou encore appelé cluster, dans chaque cluster formé un chef est choisi selon un algorithme utilisés pour assurer la gestion des nœuds au sein d'un même groupe, mais également de la gestion entre les autres [21].

La communication diffère toute fois dans ces deux cas. La communication entre les nœuds d'un même groupe s'effectue par des liens directs entre eux, tandis que la communication entre les groupes s'effectue par le biais des chefs de groupes [22, 23], exemple de protocole : CLBR, CBRDP

1.7.4 Les protocoles de routage basés sur la diffusion

Les protocoles de diffusion incluent plusieurs types de protocoles, tels que les protocoles de diffusion géocast et broadcast.

1.7.4.1 Les protocoles de routage basés sur broadcast

Il s'agit du protocole de routage le plus couramment utilisé dans les VANET, en particulier dans les applications liées à la sécurité. [24] En mode diffusion, un paquet est envoyé à tous les nœuds (même inconnus ou non spécifiés) du réseau, à leur tour, chaque nœud rediffuse le message aux autres nœuds du réseau. L'inondation est une technique importante utilisée dans les protocoles de routage de diffusion. [25] Cependant, les inondations aveugles entraînent un problème de tempête de diffusion (broadcast storm). Une tempête de diffusion peut surcharger la capacité limitée du canal, provoquant une congestion du canal qui réduit la fiabilité de la communication. [26]

1.7.4.2 Les protocoles de routage basés sur Geocast

La diffusion géographique (geocast) est une technique de routage de paquets qui a pour but de transmettre des données à l'ensemble des nœuds situés dans une zone géographique donnée appelée zone d'intérêt (ZOR Zone Of Relevance) [27]. Par conséquent un nœud doit juste rentrer dans cette zone pour pouvoir recevoir des paquets.

1.8 Travaux de standardisation et de normalisation

- **La norme DSRC** : La norme DSRC est un ensemble de norme et de protocoles qui définissent les protocoles à courtes portés. DSRC est actuellement la norme la plus appropriée pour la communication sans fil dans les réseaux véhiculaires ad hoc. Elle permet d'établir à la fois une communication V2V et V2I. La norme DSRC est compatible avec des conditions aux limites de réseaux véhiculaires hautement dynamiques. En fait, il offre non seulement une fiabilité de communication, mais également une faible latence [28].

- **WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)** : WAVE est une architecture développée par l'IEEE qui permet la communication sans fil entre véhicules dans le même environnement [29]. La figure 7 montre l'architecture DSRC/WAVE, qui est la combinaison des

normes suivantes : 1609.1, 1609.2, 1609.3 et 1609.4 définies par le groupe de travail IEEE 1609 et implémentées au niveau de la couche MAC (couche 2) et de la couche réseau (couche 3) d'OSI.

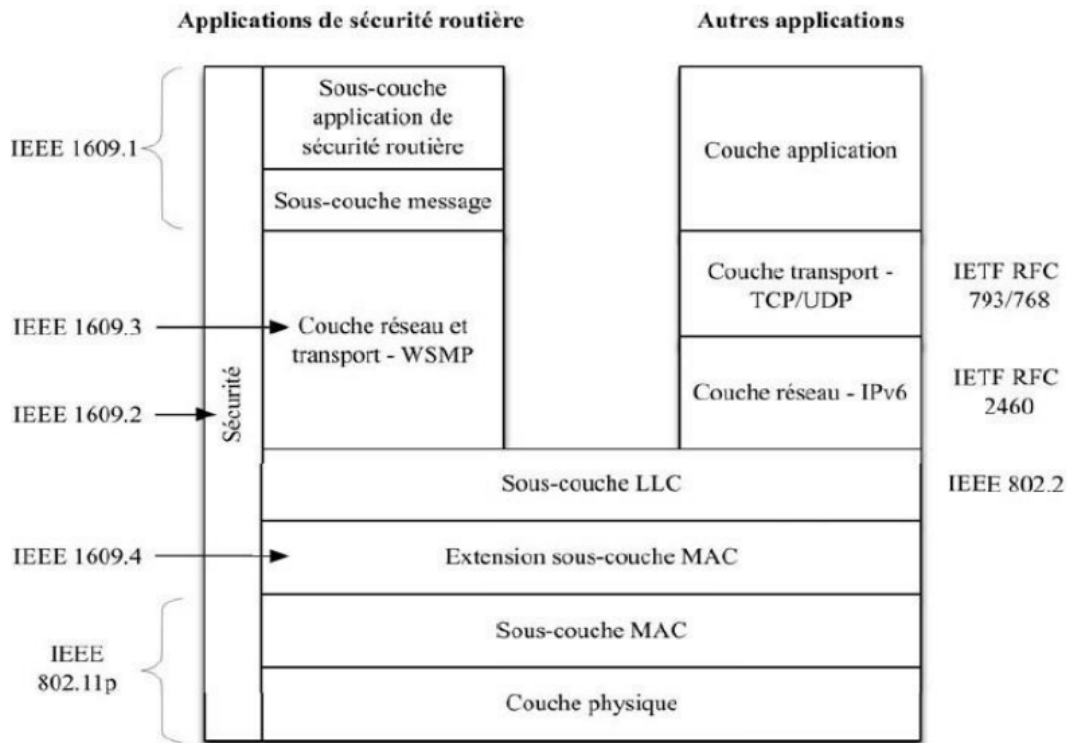


Figure 7 – Le modèle DSRC/WAVE[52]

IEEE 1609.1 : cette norme décrit un service de gestion des ressources appelé RM (Resource Manager) développé pour permettre aux applications distantes de communiquer avec les OBU via RSU. [30]

IEEE 1609.2 (Services de sécurité pour les applications et les messages de gestion) : Décrit les services de sécurité du système WAVE. L'application principale du système concerne les applications de sécurité critiques. Il est important de définir des services de sécurité pour protéger les messages contre les attaques telles que l'écoute clandestine et l'usurpation d'identité et pour protéger la confidentialité des conducteurs. [31]

IEEE 1609.3 (Services de la couche réseau): Le service réseau WAVE représente la couche 3 (réseau) et la couche 4 (transport) de la pile de communication OSI. L'objectif de cette norme est de fournir des services d'adressage et de routage au sein du système WAVE, permettant plusieurs

pires de couches supérieures au-dessus des services réseau WAVE et plusieurs couches inférieures sous les services réseau WAVE [32].

IEEE 1609.4 (Opération multi-canal) : La norme 1609.4 définit tous les mécanismes nécessaires pour hiérarchiser l'accès aux canaux, coordonner et acheminer les données vers les canaux et transmettre les données [33].

La couche physique de la norme 802.11p utilise les mêmes mécanismes et spécifications de traitement du signal que la norme 802.11a, avec quelques modifications pour s'adapter à l'environnement du véhicule [34].

1.9 Domaines d'application des VANETs

Les domaines d'application des réseaux VANETs incluent la sécurité routière, la gestion du trafic et le confort.

- **La sécurité routière :** Les applications de sécurité routière sont conçues pour améliorer la sécurité des personnes sur les routes en informant les véhicules de tout danger potentiel. Elles fonctionnent en utilisant des capteurs tels que des radars et des caméras pour détecter l'environnement et en transmettant régulièrement des messages informatifs. Les conducteurs reçoivent ces messages pour avoir des informations sur l'état de la route, comme les travaux ou la météo, ainsi que pour être alertés des véhicules voisins en cas d'accident.

- **La gestion du trafic :** Les applications de gestion de trafic visent à améliorer les conditions de circulation sur les routes en fournissant aux conducteurs des informations en temps réel sur les conditions de circulation, les bouchons et les perturbations. Le but de ces applications est de maximiser l'utilisation de la capacité des routes et des carrefours, en répartissant les véhicules de manière équitable pour éviter les embouteillages et les accidents. Cela peut inclure la recommandation de routes alternatives, l'ajustement des feux de circulation pour améliorer la circulation, et la communication en temps réel entre les véhicules pour éviter les collisions. En fin de compte, l'objectif est de réduire les pertes humaines et les temps de voyage pour les conducteurs.

- **Le confort :** Applications liées au confort dans les réseaux VANETs ont pour objectif d'assurer un voyage agréable pour les conducteurs. Ces applications comprennent des services locaux tels que les offres de restaurants et les stations-service à proximité, des services culturels comme les

informations touristiques, et des services télématiques tels que le péage à distance et le paiement automatique dans les stations-service. De plus, les réseaux VANETs permettent également de nouveaux services de divertissement, tels qu'une connexion internet à bord avec des vidéos sur demande

1.10 Conclusion

Les réseaux VANETs sont des réseaux ad-hoc sans fil de véhicules. Ils permettent une communication en temps réel entre les véhicules et les infrastructures grâce à des modes de communication tels que la communication V2V, la communication V2I et la communication hybride. Les protocoles de routage permettent une gestion efficace du trafic et une distribution efficace des informations. Les travaux de standardisation et de normalisation ont un rôle important dans le développement de ces réseaux pour garantir l'interopérabilité et la sécurité routière. Les réseaux VANETs présentent de nombreuses opportunités pour améliorer la sécurité routière, la gestion du trafic et le confort des conducteurs. En conclusion, les réseaux VANETs sont une technologie clé pour les applications liées à l'industrie automobile et la mobilité.

Chapitre II :

Clustering pour les réseaux VANETs

2.1 Introduction

Les réseaux de véhicules se caractérisent par une connectivité discontinue principalement due à la forte mobilité des véhicules et à leur densité qui varie en temps réel. En effet, si la densité du trafic est faible dans une zone géographique quelconque, le réseau ne sera plus connecté, le réseau sera fragmenté en groupes de véhicules isolés et déconnectés. Cependant, si la densité est élevée comme dans une zone de trafic urbain, son efficacité de fonctionnement diminuera inévitablement. Ils coulent sensiblement selon la distance, surtout si celle-ci s'étend sur plusieurs kilomètres. Cependant, pour résoudre les problèmes de performances, de nouveaux schémas dynamiques sont développés pour VANET, en tenant compte de leurs caractéristiques. Ces régimes se concentrent sur le regroupement des nœuds car les techniques traditionnelles basées sur la configuration statique sont moins efficaces.

2.2 Clustering

Le **clustering** (ou regroupement des nœuds) est une stratégie d'organisation non superviser qui consiste à partitionner un ensemble de nœuds d'un réseau en sous-ensembles géographiquement proches appelé **Cluster**. Dans un réseau VANET, ces nœuds sont tout simplement des véhicules. Chaque sous-ensemble est obtenu en regroupant des éléments qui partagent des caractéristiques communes. Le clustering donne une structure hiérarchique de réseau. Lorsque le réseau est divisé en sous-groupes, la gestion de réseau devient plus simple dans la plupart des cas [35] [36].

2.3 Cluster

- Un cluster étant un sous-ensemble des nœuds ayant des caractéristiques communes et géographiquement proche, il est composé de trois types d'entités : **chef cluster (ou Cluster Head (CH))**, **les membres du cluster (CM)** et **les nœuds passerelles ou Gateway node (GW)**[37]. La figure 8 illustre les différents nœuds d'un cluster.

- **Cluster Head (CH)** : Un cluster head est un nœud leader au sein d'un cluster, il est choisi selon une métrique ou d'une combinaison des métriques. Dans un cluster, le CH joue un rôle de coordinateur et transmet les informations entre les nœuds d'un même cluster (communication intra-cluster). Le CH assure aussi la gestion avec les autres clusters (communications inter-clusters).
- **Les membres du cluster (CM)** : Ce sont des nœuds ordinaires et ils rejoignent un cluster en fonction de ses caractéristiques. Les CMs émettent leurs informations périodiquement au CH. Ils ne sont pas capables d'interagir et communiquer directement avec d'autres CMs ou CHs de d'autres clusters.
- **Les nœuds passerelles ou Gateway node (GW)** : Les nœuds passerelles sont des nœuds partagés au minimum par deux clusters. Un nœud passerelle agit comme un relais pour le transfert des données entre les clusters. Ils sont généralement placés sur les bords du cluster. La sélection de GW est une tâche importante pour cluster head. En effet, la mobilité de CH devrait être relativement faible aux membres du cluster.

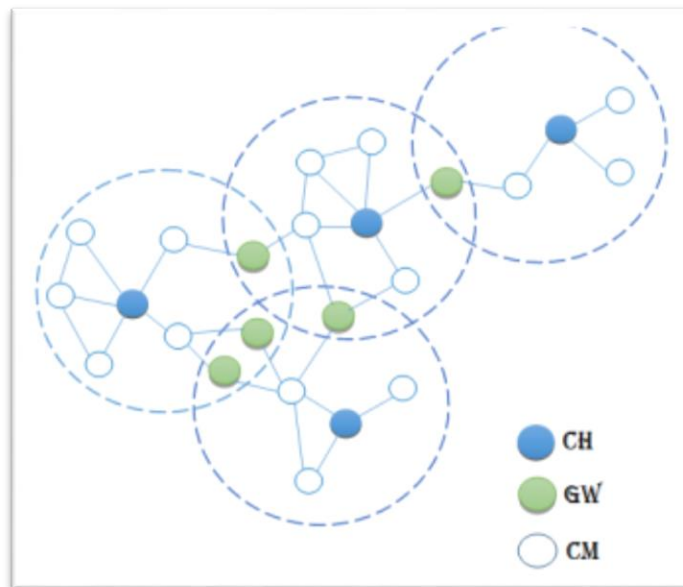


Figure 8 – Structure d'un cluster[53]

2.4 Procédure générale des algorithmes basés sur le clustering

La conception d'un algorithme basé sur le clustering pour un VANET implique plusieurs étapes. Comme le montre la figure 9, un nœud rejoignant ou tentant de rejoindre un cluster doit

passer par certaines phases. Ces phases sont : **la découverte des voisins, la sélection du cluster head, annonce, affiliation et la maintenance** [38, 39].

- **La découverte des voisins** : Lorsqu'un véhicule prend la route et décide de rejoindre un réseau VANET, son système de communication est activé en premier. A travers une diffusion périodique, il annonce son existence, tout en recevant simultanément des informations similaires auprès de ses voisins, soit passivement en écoutant les émissions, soit activement via les requêtes fait à des voisins.

- **Election du chef de cluster (CH)** : Après la réception des informations auprès des voisins, un nœud devient CH en fonction d'une ou plusieurs métriques. Un nœud peut s'élire lui-même ou par ces voisins pour être le leader (CH).

- **Annonce** : Dans cette phase, les nœuds élus dans la phase précédente diffusent les messages d'invitations pour des nœuds puissent rejoindre, participer au processus de formation et d'affiliation du cluster. Une fois que ce nœud a collecté tous les membres du cluster, il passera à la phase de maintenance.

- **Affiliation** : Lorsqu'un nœud reçoit une notification d'un nouveau chef de cluster (CH), il le compare avec celui qui a été élu à l'étape actuel. Ensuite, il envoie une réponse positive ou négative à la demande d'affiliation. De plus, il met à jour son état en tant que membre de cluster (CM) et rejoint le cluster choisi. Cependant, ce nœud peut soit traiter l'annonce, soit l'ignorer et attendre un autre message en passant directement à l'étape de maintenance pour rejoindre un cluster approprié.

- **Maintenance** : Cette étape comporte deux sous-étapes selon l'état du nœud dans le cluster (CH ou CM).

- a) **En tant que CH** : chaque CH vérifie l'état de son cluster en demandant régulièrement à ses membres (CMs) de confirmer leurs présences dans le cluster. Si un membre (nœud CM) quitte la portée du cluster, le CH détecte cet événement et le supprime immédiatement de sa liste de membres. Si un CH perd tous ses membres, ce nœud retourne à la première phase. De plus, lorsqu'un CH reçoit une demande d'un nœud ordinaire de rejoindre son cluster, il examine sa demande. Si elle est acceptable, le CH ajoute le nœud à sa liste de membres et l'en informe par message. Les clusters peuvent également fusionner avec d'autres clusters voisins s'ils ont un fort taux de chevauchement. Dans ce cas, le CH du plus petit cluster peut devenir un membre (CM) du plus grand cluster.

- b) *En tant que membre du cluster (CM)* : un nœud ordinaire vérifie régulièrement sa connexion avec son CH, en attendant un message du CH ou en envoyant des messages de présence. Si la connexion avec son CH échoue, le nœud doit changer son état en dehors du cluster et tenter de rejoindre un autre cluster. Dans le cas où le nœud reçoit une demande d'affiliation d'un nœud qui n'appartient à aucun cluster, il peut quitter son cluster et devenir un CH pour continuer la phase de maintenance.

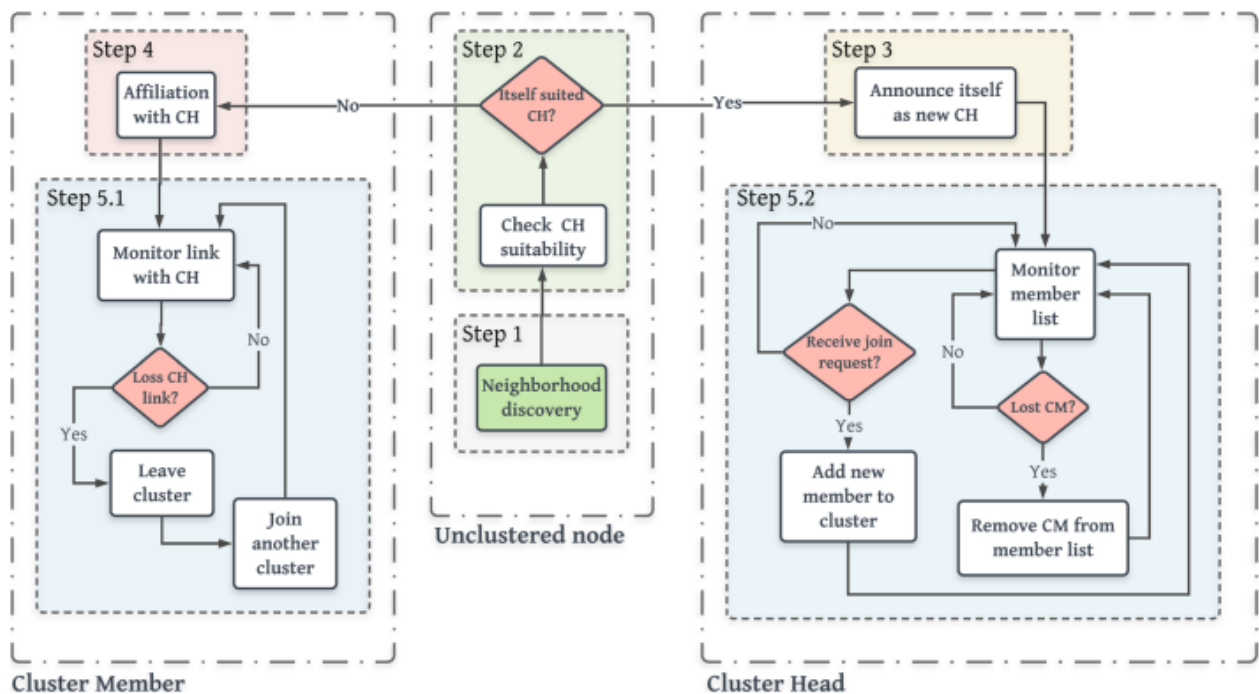


Figure 9 – Procédure générale des algorithmes basés sur le clustering[54]

2.5 Protocoles de routage basés sur le Clustering dans les réseaux VANETs

2.5.1 CDS (Connected Dominating Set)

Le clustering basé sur CDS dans les réseaux VANET est une méthode qui divise le réseau en clusters en utilisant un ensemble dominant connecté. Cette méthode permet de limiter la diffusion des informations dans un sous-groupe, ce qui facilite la transmission de données entre les

nœuds. Chaque nœud envoie une liste d'informations sur ses voisins à ses voisins. Cette liste permet à chaque nœud de connaître l'identité de tous les nœuds dans son voisinage à deux sauts ainsi que les connexions entre ses voisins à un seul saut. Sur la base de ces informations, chaque nœud décide de rejoindre ou non l'ensemble dominant CDS. Pour maintenir le CDS face aux changements de la topologie, les nœuds échangent les informations de voisinage à un seul saut avec leurs voisins à chaque changement [54].

2.5.2 CBLR (Cluster Based Location Routing)

Le protocole CBLR n'est pas seulement un protocole de clustering, mais il inclut également un protocole de routage réactif à la demande. Au départ, chaque nœud diffuse un message HELLO et coopère avec les autres nœuds pour définir les CHs (Cluster Heads). Chaque CH d'un cluster utilise une table de routage contenant les adresses et les emplacements des membres du cluster et de ses nœuds passerelles, ainsi qu'une table de voisins contenant les informations sur tous les clusters voisins. Lorsqu'un nœud source souhaite envoyer un paquet à une destination, il envoie le paquet au voisin le plus proche de la destination s'il est dans le même cluster, sinon il contacte le CH qui demande aux GWs (Gateway nodes) de coordonner avec l'autre cluster pour trouver l'emplacement de la destination. Les informations de localisation sont mises à jour chaque fois qu'un paquet doit être retransmis [55].

2.6 Etude de quelques algorithmes de Clustering dans les réseaux VANET

2.6.1 Les algorithmes de clustering à 1-saut

Les algorithmes à 1-saut sont des algorithmes qui transmettent des informations à un saut c'est-à-dire aux nœuds qui sont proche géographiquement sans passer par un nœud intermédiaire.

2.6.1.1 HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering)

L'algorithme HEED (Hybrid Energy-Efficient Distributed Clustering) est un algorithme de clusterisation utilisé dans les réseaux de capteurs sans fil.

L'objectif de l'algorithme HEED est de minimiser la consommation d'énergie totale du réseau en choisissant judicieusement les nœuds CH pour former les clusters et en gérant efficacement les communications entre les nœuds. Pour ce faire, HEED utilise une approche

itérative où chaque nœud calcule une valeur d'énergie résiduelle basée sur diverses considérations, telles que la distance, la charge de travail et la batterie restante, pour déterminer s'il devrait devenir CH ou rester CM. Les nœuds qui ont la plus grande valeur d'énergie résiduelle sont choisis pour devenir des CH.

Ensuite, les CM communiquent régulièrement avec leur CH pour maintenir leur appartenance au cluster, tandis que les CH transmettent les données collectées par les CM à un nœud de base ou à d'autres nœuds CH supérieurs. Les CH évaluent également régulièrement l'état de leur cluster et s'adaptent en conséquence pour minimiser la consommation d'énergie totale. [40]

2.6.1.2 HCC (Highest Connectivity Cluster)

L'algorithme HCC (Highest Connectivity Cluster) est un algorithme de formation de clusters dans les réseaux de capteurs sans fil. Il élit un nœud en tant que cluster-head en fonction de sa connectivité, c'est-à-dire en fonction du nombre de voisins qu'il a. En cas d'égalité, le nœud avec le plus petit identifiant ID devient le cluster-head. Les nœuds qui n'ont pas encore choisi le cluster-head restent dans un état non couvert et les nœuds qui appartiennent à plusieurs clusters jouent le rôle de passerelle. [41].

2.6.1.3 MOSIC (Mobile Sink-Enabled Overlapping Clustering)

Le MOSIC (Mobile Sink-Enabled Overlapping Clustering) est un algorithme de clustering conçu pour les réseaux VANETs. Il utilise une structure de cluster pour faciliter la communication entre les véhicules, améliorer la qualité de service et réduire la perte de paquets. L'algorithme MOSIC fonctionne en quatre phases, à savoir, la phase d'initialisation, la phase de formation de cluster, la phase de sélection de cluster-head et la phase de maintenance de cluster.

- **La phase d'initialisation** est effectuée par tout véhicule en état NC (non clusterisé) qui reçoit un message d'état de ses r -voisins (r -voisin : voisin à r distance). Si le véhicule découvre un cluster head dans son voisinage, il lance la procédure de rejoindre le cluster. Sinon, il exécute la phase de formation de cluster.

- **La phase de formation** de cluster est lancée par le véhicule le plus lent parmi tous les r -voisins NC qui ont exécuté la phase d'initialisation et découvert qu'il n'y a pas de CH à proximité. Ce véhicule est appelé le véhicule formant un cluster (CFV), et il se sélectionne lui-même comme CH et diffuse un message d'état à ses r -voisins.

- **La phase de sélection de cluster head** consiste à choisir un cluster head (CH) stable et responsable de la gestion de la structure du cluster. MOSIC utilise une mesure de mobilité pour sélectionner le CH qui est le véhicule ayant la plus grande mobilité, elle est calculée en fonction de la vitesse du véhicule, la vitesse moyenne des véhicules dans la zone de voisinage et la distance entre le véhicule et son r-voisin le plus proche.

- **La phase de maintenance** de cluster a pour objectif principal de maintenir la stabilité de la structure du cluster dans le VANET. En raison de la dynamique du réseau, il est fréquent que des véhicules entrent ou sortent du cluster, ou que des clusters fusionnent. Trois événements en particulier peuvent affecter la stabilité du cluster : l'entrée, la sortie et la fusion. Des procédures de maintenance sont donc mises en place pour chacun de ces événements. Lorsqu'un véhicule approche un CH, il est vérifié si sa vitesse relative est comprise entre une certaine plage de valeurs, auquel cas il est ajouté à la liste des membres du cluster. Si un membre sort de la plage de transmission du CH, il n'est pas immédiatement supprimé de la liste. S'il ne reçoit pas les informations diffusées par le CH pendant un certain temps, son état passe de CM à TCM. S'il reçoit à nouveau les informations, il retourne à l'état CM, sinon il est retiré de la liste et peut soit rejoindre un autre cluster, soit former un nouveau cluster [42].

2.6.2 Les algorithmes de clustering à K-sauts

Les algorithmes à k-sauts sont des algorithmes de routage dans les réseaux ad hoc qui permettent à un nœud source d'envoyer des données à un nœud de destination en utilisant des nœuds intermédiaires (voir la figure ci-dessous). Dans ces algorithmes, le nombre de sauts que chaque paquet peut effectuer est limité à k, ce qui permet de réduire le coût de routage et d'augmenter l'efficacité du réseau.

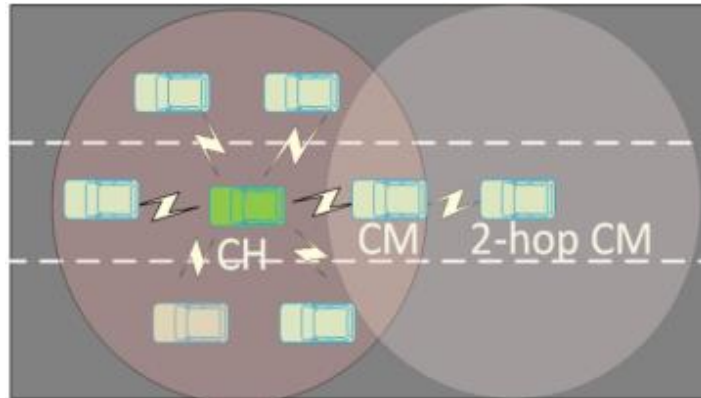


Figure 10 – exemple d'un modèle multi saut

2.6.2.1 MHEED

Le protocole MHEED s'effectue en plusieurs tours répétitifs d'agglomération. Chaque tour comprend une phase de clustering basée sur le même principe que celui décrit dans HEED, A la fin de cette phase, les chefs de cluster sont élus et leurs clusters sont formées. Après cette phase, une phase de transmission de données s'ensuit, où les nœuds ordinaires envoient régulièrement leurs données aux chefs de clusters, qui agrègent les données reçues de leurs membres pour minimiser le nombre de paquets à transmettre avant de les envoyer à la station de base. Cette transmission est faite, de relais en relais, par le biais des chefs de clusters comme suit :

Dans la première version appelée MHEEDB, chaque chef de cluster n'est qu'un seul relais parmi les chefs de clusters voisins, choisi en fonction d'une métrique donnée. Dans la seconde version appelée MHEEDP, chaque chef de cluster peut avoir plusieurs relais vers la station de base parmi les chefs de clusters voisins. Chaque fois qu'il envoie des données, il choisit aléatoirement l'un de ces relais pour transmettre les données, y compris celles qu'il a reçues de chefs de clusters plus éloignées qui l'ont choisi comme relais [40].

2.6.2.2 PMC (Passive multi-hop clustering)

Dans PMC (Passive multi-hop clustering), chaque véhicule envoie un message « HELLO » à son voisin à un seul saut. Le nœud voisin met à jour sa propre table en analysant le message « HELLO » reçu. Cette table contient les informations suivantes : ID du nœud, vitesse, direction, identifiant du CH (chef de cluster) et le nombre de sauts vers le nœud CH. Lorsque cette table n'est pas vide, le véhicule est dans l'état SE (State Election) et essaie d'abord de se connecter à un cluster existant. Le véhicule peut se connecter à un nœud CH ou un autre nœud CM (membre de cluster)

selon la stratégie de suivi des voisins prioritaires. Si le degré de connexion maximum de CH n'atteint pas le maximum, le véhicule décide de se connecter au nœud CH en envoyant un message « JOIN REQ ». Si le CH répond par un message « JOIN RESP » dans un intervalle de temps défini appelé « JOIN TIMER », cela signifie que le véhicule est autorisé à rejoindre le cluster et à changer son état en CM. Sinon, le véhicule n'est pas autorisé à se connecter au CH et essaie de se connecter au CH via le CM par plusieurs sauts. Il est important de prendre en compte deux facteurs dans la phase de sélection du CH, à savoir sa mobilité et le nombre de nœuds CM [43].

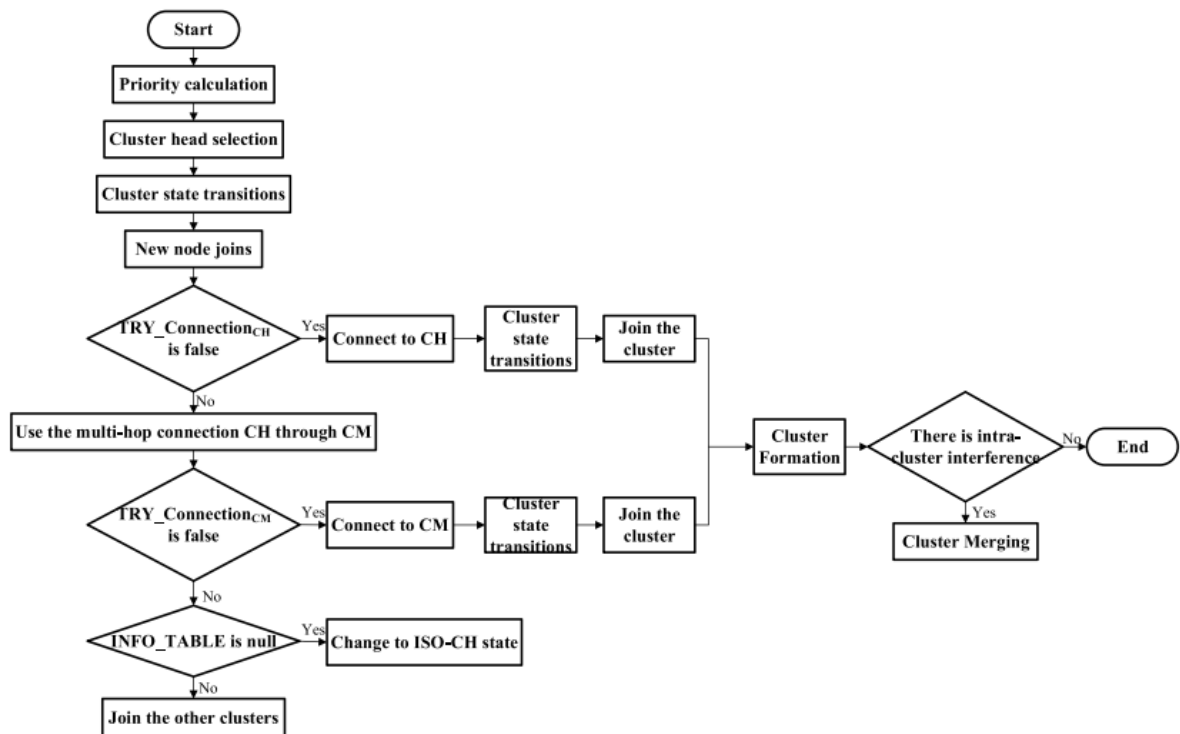


Figure 11 – algorithme PMC [43]

2.6.2.3 MC-DRIVE (Modified Clustering based on Direction in Vehicular Environment)

Une méthode nouvelle pour former des groupes de véhicules appelée MC-DRIVE a été décrite dans [44]. Cette approche forme des groupes en se basant sur la direction future des véhicules proches des intersections (à gauche, à droite ou en retournant). La taille du groupe est limitée à une certaine distance de l'intersection, qui dépend de la vitesse et de la portée radio des véhicules à l'approche de l'intersection. Cela permet d'obtenir une estimation plus précise de la densité. Il a également été constaté que la précision peut être améliorée en réduisant la portée radio

à une valeur définie. À cette distance, chaque véhicule envoie un message HELLO qui contient son identifiant, sa voie de circulation et sa direction future.

2.6.2.4 VMaSC (Vehicular Multi-hop algorithm for Stable Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks)

L'algorithme VMaSC comprend deux phases principales pour la formation et l'élection de chef de cluster: la phase d'élection d'état et la phase d'élection de chef.

La phase d'élection d'état consiste en la prise de décision par chaque véhicule de son prochain état en utilisant l'algorithme d'élection d'état basé sur les informations de clustering locales (LOCAL KNOW) construites à partir de la réception de paquets HELLO avec des attributs de clustering. Les cinq états possibles pour chaque véhicule sont INITIAL, STATE ELECTION, CLUSTER HEAD, CLUSTER MEMBER et CLUSTER GUEST. Dans l'état INITIAL, le véhicule collecte des métriques de clustering telles que la direction, la vitesse actuelle, le compteur de saut actuel, AV GRELSpeed, MAX HOP, l'identifiant du cluster head connecté, MEMBERch et GUESTcm, et met à jour LOCAL KNOW. Une fois que le temporisateur du véhicule est expiré, l'état du véhicule passe à STATE ELECTION et le processus de clustering est déclenché en utilisant LOCAL KNOW pour calculer AV GRELSpeed. L'algorithme d'élection d'état sélectionne ensuite le cluster head, le cluster member et le cluster guest en fonction des résultats de comparaison de AV GRELSpeed et de la recherche de la durée de vie maximale des cluster heads.

La phase d'élection de chef commence lorsque le nombre de chefs de cluster est inférieur à un certain seuil. L'algorithme d'élection de chef commence par essayer d'établir une connexion entre les chefs de cluster existants. Si cela n'est pas possible, le véhicule élit un nouveau chef de cluster en utilisant l'attribut AV GRELSpeed pour mesurer la mobilité relative des autres véhicules dans la zone. Le véhicule choisit le véhicule ayant la mobilité relative la plus faible parmi les autres candidats pour devenir le nouveau chef de cluster. Le nouveau chef de cluster annonce sa présence en envoyant un paquet de diffusion appelé CH ADV, et les autres véhicules dans la zone suivent la procédure JOIN REQ et JOIN RESP pour obtenir l'autorisation de rejoindre le cluster [45].

2.7 Comparaison des algorithmes étudiés

Dans cette section, une analyse comparative est effectuée pour comparer les différentes techniques de clustering utilisées dans les algorithmes examinés dans la section précédente. Cette

analyse se base sur certains paramètres à prendre en compte lors de la conception d'un algorithme de clustering pour les réseaux VANET. Ces paramètres incluent les métriques de sélection du CH, les avantages, les inconvénients et la stratégie de transfert de données.

Tableau 1– Comparaison entre les algorithmes étudiés

Algorithmes Année	Critère de sélection CH	Avantages	Inconvénients	Stratégie de transfert
HEED	Energie résiduelle	-Réduction de la consommation d'énergie	- Inefficacité pour les petits réseaux -Complexe à mettre en œuvre	1- saut
HCC	topologie	-Réduction du nombre de clusters	-Maintenance des clusters très coûteuse -Changement très fréquent de CH	1- saut
MOSIC	mobilité	- Durée du cluster-head (CH) - nombre de cluster réduit - changement de CH plus faible - Meilleure utilisation des ressources réseau	- La nécessité d'avoir une grande quantité de données - Le manque de transparence de l'algorithme	1-saut
MHEED	Energie résiduelle	-Augmenter la stabilité et équilibrage de charge - Réduction de la consommation d'énergie	- Inefficacité pour les petits réseaux	Multi-saut
MC-DRIVE	position	Augmenter la stabilité des clusters	Toute nouvelle réduction de la portée radio entraîne une augmentation du nombre de CHs	Multi-saut
VMaSC	mobilité	-La formation et la maintenance de clusters stables et efficaces	-Sensibilité aux interférences -Consommation d'énergie élevée	Multi-saut

		-minimiser le nombre de cluster heads		
PMC	voisinage	-Réduire les interférences entre les clusters	Une grande complexité en termes de temps et de messages échangés dans le réseau.	Multi-saut

2.8 Métriques d'évaluation des performances des algorithmes de clusterisation

Ces métriques peuvent être regroupées en plusieurs catégories :

- Messages explicites du processus de clusterisation : Ces métriques sont liées aux messages échangés entre les nœuds pendant la formation et la maintenance des clusters. Elles incluent l'overhead (la charge supplémentaire sur le réseau), la complexité en message pour un changement de topologie (le nombre de messages échangés pour accomplir une ré-organisation valide des clusters après un changement dans la topologie du réseau).
- Caractéristiques des clusters : Ces métriques mesurent les propriétés des clusters eux-mêmes, notamment la taille moyenne d'un cluster, le nombre moyen de clusters formés dans le réseau, et la distance totale aux cluster-heads (la somme des distances entre les nœuds et leurs cluster-heads).
- Complexité des algorithmes : Ces métriques mesurent le temps nécessaire pour accomplir une ré-organisation valide des clusters après un changement dans la topologie du réseau.
- Stabilité de la structure des clusters : Ces métriques mesurent la durée de vie moyenne d'un cluster-head, la durée de vie moyenne d'un membre, le nombre de changements de cluster-head, le nombre de mises à jour de l'ensemble dominant, et le nombre de ré-affiliations.
- Facteur d'équilibre de charge : Ces métriques mesurent la durée de vie moyenne d'un cluster-head, la variance de la durée de vie d'un cluster-head.

En choisissant les métriques appropriées pour une application particulière, il est possible d'évaluer les performances des différents algorithmes de clusterisation et de choisir celui qui convient le mieux aux besoins de l'application [56]

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présentés le clustering et ses applications dans les réseaux VANET. Nous avons défini le concept de cluster et examiné la procédure générale des algorithmes basés sur le clustering. Nous avons également étudié plusieurs algorithmes de clustering et les avons comparés en utilisant des métriques d'évaluation des performances. Ce chapitre montre que le clustering peut être utilisé pour améliorer les performances des réseaux VANET en regroupant les nœuds en clusters pour une communication plus efficace.

Chapitre 3

Contribution et Simulation

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons étendre le travail réalisé par LAZREUG FATIMA ZOHRA et KOUADRI AMINA [57] en proposant une amélioration de leur algorithme de clustering, appelée SHC-HS (Single-Hop Clustering based on Highest Speed), qui vise à optimiser la formation des clusters en utilisant une communication à un saut avec le chef de cluster. Ensuite, nous présenterons un nouvel algorithme de clustering, le 2HC-HS (2-Hop Clustering based on Highest Speed), qui exploite une communication à deux sauts pour une formation de clusters encore plus efficace. Enfin, nous procéderons à une comparaison détaillée des performances des deux algorithmes de clustering.

3.2 Descriptions des algorithmes

SHC-HS est une approche de clustering basée sur la vitesse pour sélectionner le cluster-head. Le véhicule qui a une vitesse la plus élevée dans le cluster est sélectionné comme un cluster-head. Le modèle utilise également des messages de contrôle pour déterminer l'état des véhicules et la liste de voisin. 2HC-HS est une évolution de SHC-HS qui intègre la considération des nœuds à deux sauts pour la formation de clusters. Il convient de noter que le fonctionnement de SHC-HS et 2HC-HS est similaire. Dans les deux cas, le choix du cluster-head se fait en fonction de la vitesse maximale des véhicules, où celui avec la vitesse la plus élevée dans la zone de communication du cluster est sélectionné comme cluster-head. Cependant, 2HC-HS va plus loin en prenant également en compte les véhicules du deuxième saut pour améliorer la stabilité du cluster.

Le modèle SHC-HS et 2HC-HS ont pour objectifs de former des clusters stables en augmentant la durée de vie de cluster-head et en réduisant le nombre de changements de cluster-head. Ces modèles supposent que tous les véhicules circulent dans **la même direction** et se **concentrent uniquement sur la communication V2V**.

3.3 Fonctionnements des algorithmes

Chaque véhicule envoie périodiquement un message de type « HELLO » et les véhicules qui reçoivent ce type de message mettent à jour leur table des voisins avec les informations de l'expéditeur du message. La figure montre les différentes structures de la liste des nœuds de **SHC-HS** et **2HC-HS** (déclarée au niveau du simulateur OMNeT).

```
//structure de paramètre des nœuds
struct node{
Coord pos;
int stat;
LAddress::L2Type myId ;
double r;
simtime_t t;
};
//la liste contenant les nœuds à un saut
std::list<node> one_hop;
list<voisin>::iterator position3;

//structure de paramètre des nœuds
struct node{
Coord pos;
int stat;
LAddress::L2Type myId ;
double r;
simtime_t t;
};
//la liste contenant les nœuds à un saut
std::list<node> one_hop;
list<voisin>::iterator position3;
//la liste contenant les voisins du 2e saut
std::list<node> second_hop;
list<voisin>::iterator position4;
```

Figure 12 – Structure des nœuds

La structure "node" utilisée pour stocker les informations des nœuds reçu à partir du message HELLO comprend les champs suivants :

- **pos** : position de l'expéditeur du message
- **stat** : statut de l'expéditeur du message
- **myId** : ID de l'expéditeur du message
- **r** : vitesse de l'expéditeur du message
- **t** : horodatage du message

Dans le cadre de **SHC-HS**, une liste unique est créée et représentée par "**one_hop**", tandis qu'une deuxième liste est également créée de plus pour stocker les nœuds du deuxième saut, appelée "**second_hop**", dans le cadre de **2HC-HS**.

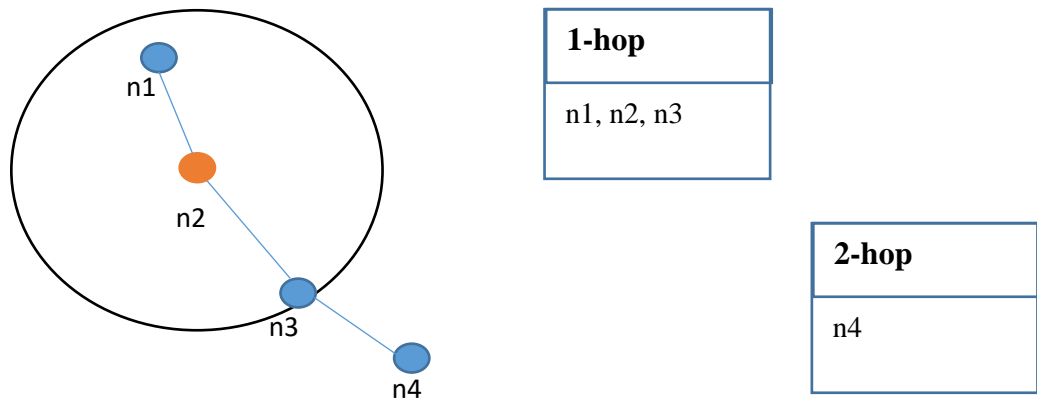


Figure 13 – Liste des nœuds

En ce qui concerne les différents états qu'un véhicule peut prendre dans ces algorithmes, ils sont récapitulés dans le tableau suivant.

Tableau 2 – Les différents états d'un véhicule

Etats	Descriptions
NC (0)	Il n'appartient à aucun cluster (état initial)
TNC (1)	Il n'appartient à aucun cluster temporairement
CM (3)	Membre dans un Cluster
CH (2)	Cluster-Head

Les algorithmes SHC-HS et 2HC-HS sont constitués de trois procédures distinctes : **initialisation** (envoi et réception d'un message de contrôle), **sélection d'un CH** et **maintenance du cluster**.

3.3.1 Procédure d'initialisation

La procédure d'initialisation est subdivisée en deux étapes :

- **Phase de transmission de message de contrôle**

La phase de transmission de message de contrôle vise à envoyer des messages spécifiques permettant l'initialisation des nœuds. Trois types de messages ont été créés : le premier type, "**je deviens ton ch**", est envoyé par un Cluster-Head ; le deuxième type, "**Je veux devenir membre de cluster**", est envoyé par un véhicule n'appartenant pas à un cluster pour solliciter un Cluster-Head parmi ses voisins ; le troisième type, "**Hello**", est périodiquement envoyé par les véhicules se trouvant dans les états CM ou TNC.

```
1: Début
2:   Pour chaque temps t
3:     Si Etat == 2 alors
4:       envoyer un message de type "je deviens ton CH "
5:     Sinon, Si Etat == 0 alors
6:       envoyer un message de type "je veux devenir membre du cluster")
7:     Sinon, si Etat != 1 || 3
8:       Envoyer le message de type "Hello"
9:     Fin si
10:   Fin si
11: Fin Pour
12: Fin
```

Figure 13 . Algorithme de la phase de transmission périodique de message de contrôle

- **Phase de réception d'un message de contrôle**

Lorsqu'un nœud reçoit un message de contrôle provenant d'un autre véhicule, la fonction « **node_initialisation** » est invoquée pour initialiser les nœuds en fonction du message reçu. Pour commencer, la fonction « **modifie_noeud** » est utilisée pour mettre à jour les nœuds en se basant sur les informations contenues dans le message de contrôle. Dans le contexte de l'algorithme SHS-HS, la fonction recherche le voisin dans la liste existante et le met à jour s'il est présent, sinon il est ajouté à la liste. Dans le cas de l'algorithme 2HC-HS, il vérifie à la fois la liste des voisins directs

et indirects en comparant les identifiants. Si le voisin correspondant est trouvé, ses informations sont mises à jour, sinon il est ajouté à l'une des listes en testant sa position par rapport au CH.

Dans les algorithmes (figure 14), si le message reçu indique "je suis deviens ton CH" et que le véhicule se trouve dans l'état "NC" (No Cluster), le statut du véhicule est modifié en "CM".

Si le message reçu est de type "je veux devenir membre du cluster", le véhicule répond en envoyant un message de type "je suis devenu ton CH". Si non on recherche s'il y a un cluster-head (CH) parmi les voisins, le véhicule envoie également un message de type "je veux devenir membre du cluster" à ce CH.

```
1: début
2:  appeler fonction modifie_voisin pour mettre à jour les informations du nœud
3:  Si le message est de type "je deviens ton CH" alors
4:    Si Etat==CM ou Etat== TNC alors
5:      Mettre l'état du nœud à CM (Etat= :CM)
6:    Fin si
7:  Fin si
8:  Si le message est de type "je veux devenir membre du cluster" alors
9:    Si l'état du nœud est 2 alors
10:     Envoyer le message msg "je suis devenu ton CH"
11:    Fin si
12:  Sinon, Si le message est de type "je veux devenir membre du cluster" alors
13:    Si l'état du nœud est 1 ou 0 alors
14:      Rechercher un CH
15:      Si CH exist alors
16:        Envoyer le message "je veux devenir membre "
17:      Fin si
18:    Fin si
19:  Fin si
20: Fin
```

Figure 14 Algorithme de la réception de message de contrôle

3.3.2 Procédure de sélection de CH

Cette phase se caractérise par la recherche du nœud ayant la vitesse maximale parmi les nœuds directs et à deux sauts selon l'algorithme 2HC-HS. La fonction max_vitesse est appelé pour obtenir la vitesse la plus élevé. Pour avoir plus de détail voici les déroulement ci-dessous

```
1: Début
2:   Si Etat ==TNC ou NC alors
3:     appeler la fonction max_vitesse ()
4:     Si la vitesse est maximale alors
5:       Mettre l'état du nœud à CH
6:       Mettre la couleur du nœud à "Rouge"
7:     Fin si
8:   Fin Si
9: Fin
```

Figure 15. Algorithme de sélection de CH

3.3.3 Procédure de Maintenance

La procédure de maintenance débute par une vérification de l'état du nœud. S'il est identifié comme étant un CH (Cluster Head), le nœud passe à l'étape suivante. Il effectue une vérification pour déterminer s'il existe des nœuds TNC. Si c'est le cas, le nœud envoie un message pour indiquer qu'il devient leur CH, c'est-à-dire qu'il devient le chef du cluster. Ensuite, le nœud entre dans une boucle où il traite les nœuds CM. Si le temps de non-communication avec un nœud CM dépasse une valeur seuil de 5 secondes pour les nœuds SHS-HS et de 15 secondes pour les nœuds 2HC-HS, ce nœud CM est supprimé. Cette étape est cruciale pour maintenir un réseau dynamique en éliminant les nœuds inactifs. D'autre part, si le nœud est identifié comme étant un CM, il procède à la recherche de son CH. Une fois le CH trouvé, le nœud vérifie si le temps de non-communication avec le CH dépasse une valeur seuil. Si tel est le cas, cela signifie qu'il y a une perte de communication avec le CH, et le nœud procède alors à la suppression de ce dernier. Ensuite, l'état du nœud est mis à jour en TNC, et il envoie un message pour exprimer son souhait de devenir membre d'un cluster.


```
1: Debut
2:   Si Etat==CH
3:     Si il existe des nœuds TNC
4:       Envoyer le message « je deviens ton CH » »
5:     Fin si
6:     Tant qu'il existe des nœuds CM
7:       Si le temps de non communication avec CM>(5 ou 15)
8:         Supprimer le CM
9:       Fin si
10:    Fin Tant que
11:   Sinon, Si Etat==CM
12:     Rechercher mon CH
13:     Si le CH est trouvé
14:       Si le temps de non communication avec CH>(5 ou 15)
15:         Supprimer le CH
16:         Etat= : TNC
17:         Envoyer le message « je veux devenir membre »
18:       Fin si
19:     Fin si
20:   Fin si
21: Fin
```

Figure 16. Algorithme de la procédure de maintenance

3.4 Simulation

Dans le cadre de notre étude, nous avons réalisé une simulation pour évaluer l'efficacité de notre proposition. Pour ce faire, nous avons utilisé trois simulateurs : **OMNET++** (version 5.6.2), **VEINS** (version 5.1) et **SUMO** (version 1.8).

3.4.1 OMNET++

OMNET++ est un environnement de simulation modulaire à base de composants open source qui a été initialement développé dans le cadre d'un projet d'étude de l'université de Budapest en 1992[58].

Depuis lors, il a été amélioré au fil des années et est utilisé principalement dans le domaine des réseaux de communication, mais peut également être appliqué à d'autres domaines tels que les systèmes informatiques, les réseaux de files d'attente, les architectures matérielles et les processus

d'affaires. OMNET++ est écrit en C++ et fournit une architecture générique et flexible pour la simulation de systèmes complexes [59].

3.4.1.1 Architecture OMNET

OMNET++ est reconnu pour sa facilité d'apprentissage et d'intégration de nouveaux modules ainsi que pour la modification de ceux déjà implémentés. L'architecture du modèle OMNeT++ est composée de plusieurs modules imbriqués de manière hiérarchique, comme illustré dans la figure ci-dessous :

- Le module système : Il occupe la position la plus élevée dans la hiérarchie et est chargé de la gestion globale du modèle de simulation. Il prend en charge des tâches telles que l'initialisation de la simulation, la gestion du temps, la planification des événements et la coordination entre les modules.
- Modules simples (feuilles) : Ce sont des modules individuels programmés en C++ qui encapsulent le comportement spécifique d'une entité réelle du système. Chaque module simple est représenté par un fichier ".cc" et un fichier ".h" correspondants.
- Modules composés : Ils sont formés par la combinaison d'un ou plusieurs modules simples ou modules composés interconnectés entre eux. Les paramètres, les ports et les modules internes de chaque module sont spécifiés dans un fichier ".ned". Les modules composés permettent de construire une structure plus complexe et de représenter les interactions entre les différents modules du système.

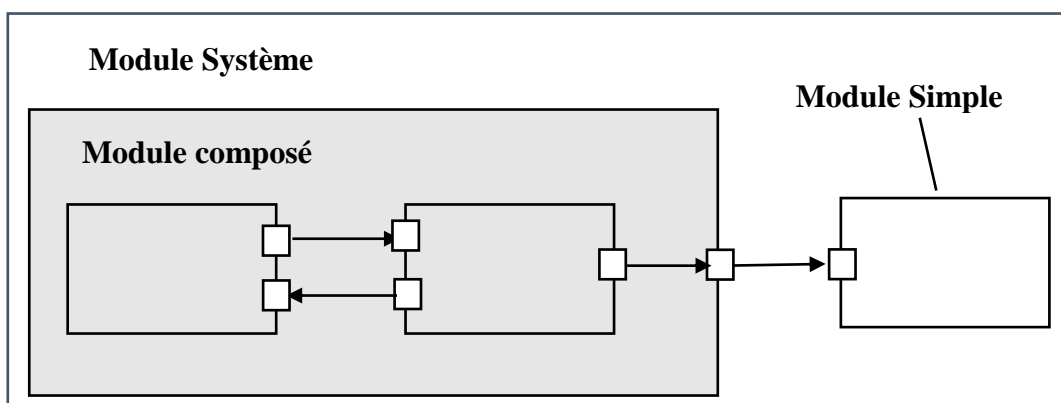


Figure 17 Architecture modulaire omnet++[57]

3.4.2 Veins (Vehicles in Network Simulation)

Il permet de simuler et d'évaluer des protocoles et des applications de communication véhiculaire dans un environnement réaliste, en tenant compte des caractéristiques complexes des réseaux véhiculaires telles qu'une mobilité élevée, une bande passante limitée et une connectivité intermittente.

3.4.3 SUMO (Simulation of Urban Mobility)

C'est une solution de simulation pour la circulation routière qui est conçue pour gérer et contrôler les tronçons routiers. Il offre la possibilité de modéliser les systèmes de circulation, tels que les véhicules conventionnels, les transports en commun, la traversée des piétons, les tunnels, les zones ferroviaires. SUMO intègre également une gamme d'outils pour la gestion des itinéraires, la visualisation et la numérisation des cartes géographiques [60].

3.4.4 Instructions d'installation de l'IDE OMNeT++ et lier avec veins :

1. Accédez au répertoire OMNeT++.
2. Recherchez le fichier Mingwenv.cmd et double-cliquez dessus pour le lancer, ce qui ouvrira une console.

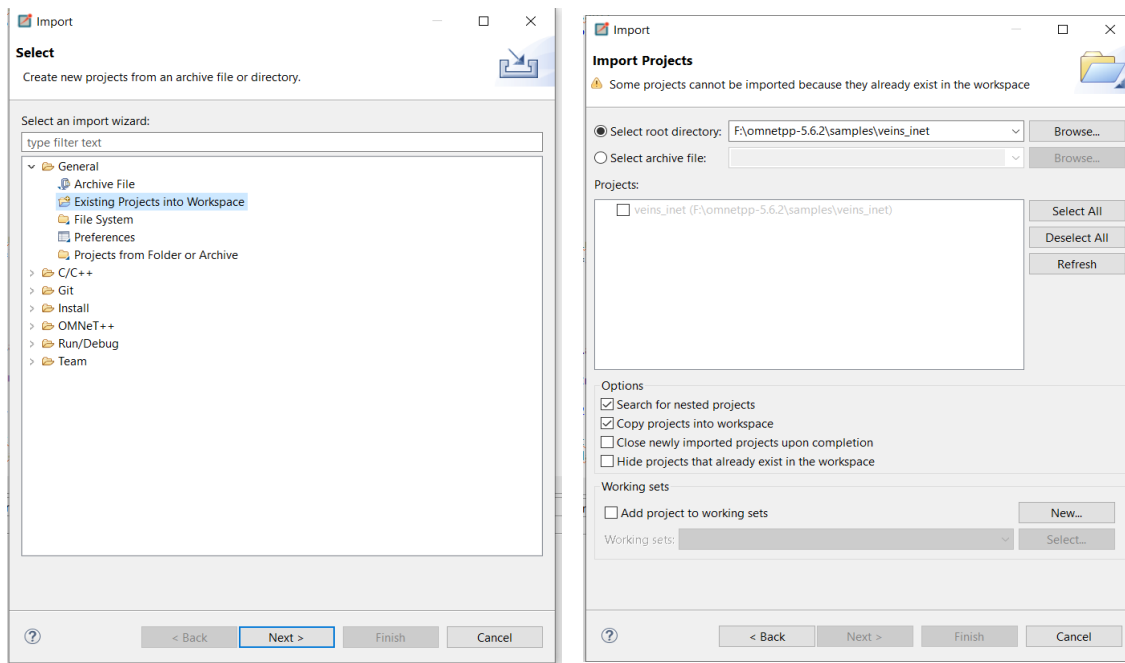


Figure 18 . Importation de Veins

3. Entrez la commande suivante : `./configure` et attendez que la configuration soit terminée.
4. Ensuite, entrez la commande suivante : `make` et attendez la fin de la compilation.
5. Tapez la commande `omnetpp` pour démarrer le simulateur OMNeT++.
6. Importer le package Veins téléchargé (Figure 18).

3.4.5 Implémentation de l'algorithme 2HC-HS

Dans le travail réalisé, nous avons implémenté notre algorithme dans les classes `cluster.cc` et `cluster.h`. Ces classes se trouvent dans le package Veins importé (voir figure 18) `src/veins/modules/application`. Les classes "cluster" héritent des fichiers `BaseWaveAppLayer.h` et `BaseWaveAppLayer.cc`, qui sont également présents dans le même dossier. Ces fichiers de base sont essentiels pour fournir les fonctionnalités nécessaires au développement d'applications de communication basées sur les ondes dans Veins.

➤ Lancer une simulation

Afin de permettre la simulation, il est nécessaire d'exécuter simultanément SUMO et OMNeT++. C'est pourquoi VEINS est livré avec un petit script Python qui établit une connexion TCP proxy entre OMNeT++ et SUMO. Ce script lance une nouvelle instance de la simulation SUMO pour chaque connexion OMNeT. Ainsi, pour effectuer cette opération, on utilise la commande suivante dans l'invite de commande :

```
Welcome to OMNeT++ 5.6.2!  
  
/f/omnetpp-5.6.2$ F:/omnetpp-5.6.2/samples/veins/bin/veins_launchd -vv -c F:/sumo-1.16.0/bin/sumo.exe  
Logging to C:/Users/Nour/AppData/Local/Temp/sumo-launchd.log  
Listening on port 9999
```

Figure 19. Commande pour lancer une instance SUMO

Chapitre 3: Contribution et Simulation

Cliquez ensuite avec le bouton droit sur omnetpp.ini et sélectionnez Run As , comme illustré à la Figure 20.

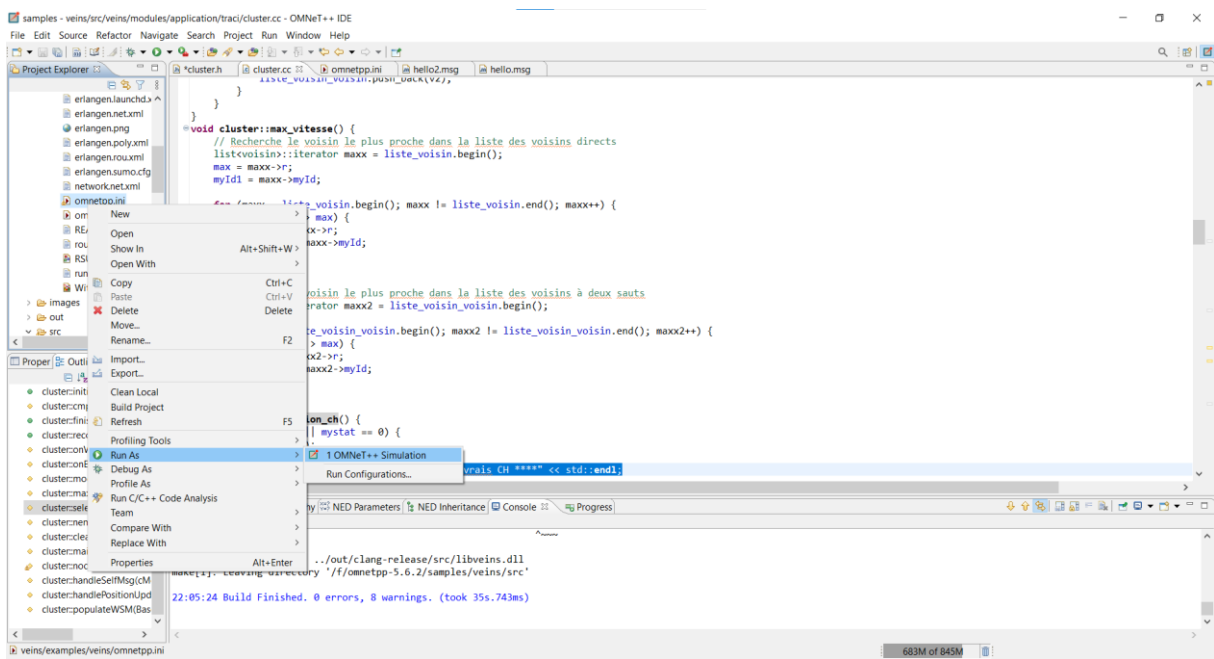


Figure 20. Exécution de Omnetpp.ini

La figure 21 présente la carte routière existant par **défaut** dans l'environnement de simulation utilisée lors de nos simulations.

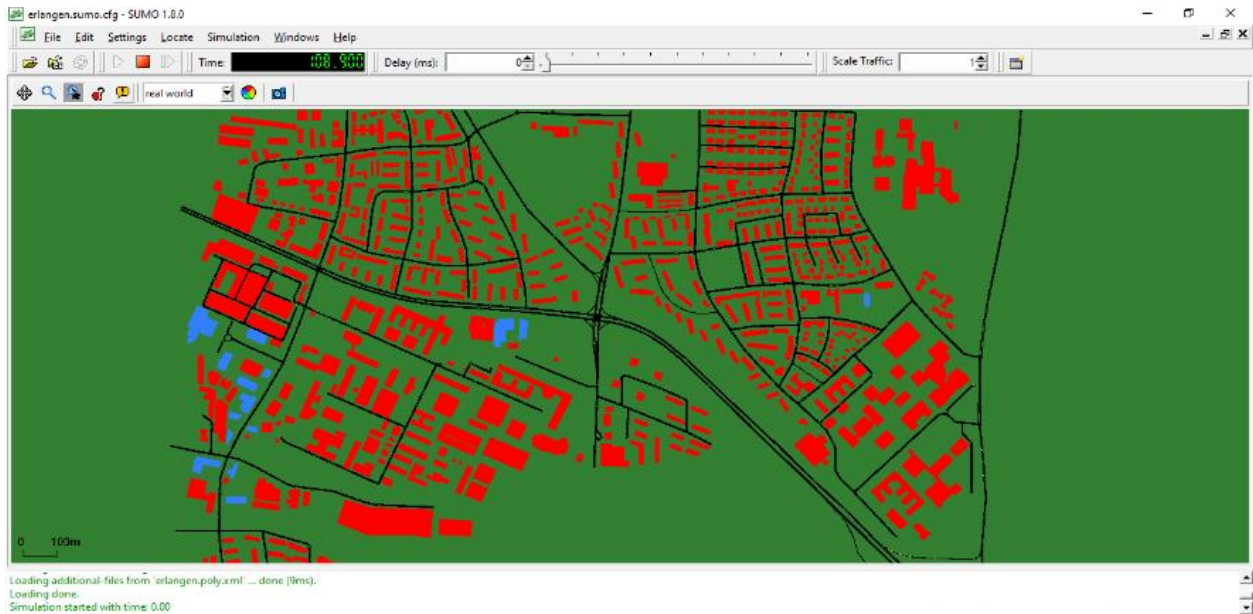


Figure 21 Carte routière [57]

3.4.6 Le scénario

Dans le scénario, les véhicules se déplacent sur les routes d'une carte routière spécifique, telle que présentée dans la figure 21, en partant tous du même point de départ. Au début de la simulation, tous les véhicules sont initialement colorés en blanc. Cependant, dans la figure 22, nous pouvons observer un aperçu de la simulation où les véhicules sont représentés avec différentes couleurs. En particulier, les véhicules en mode CH sont affichés en rouge, tandis que ceux en mode CM à 1-saut sont affichés en bleu et en noir pour les nœuds à 2-sauts.

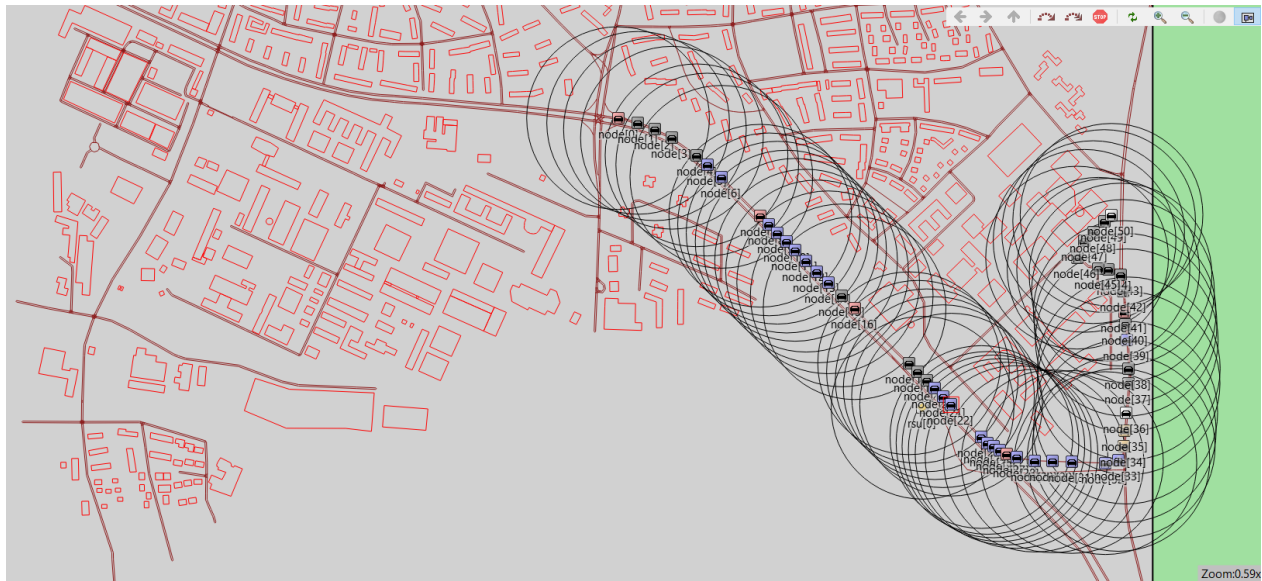


Figure 22 Simulation du réseau

3.4.7 Paramètre de simulation

Le tableau suivant présente les paramètres de simulation.

Tableau 3 Paramètres de simulation

Paramètres	Valeurs
Temps de simulation	{ 200, 300, 400 }
Simulation area	2500m * 2500m
Range de transmission	{ 100, 200, 300 }
Temps de transmission des messages périodiques	1 s
Temps de maintenance	{ 5, 10, 15 }

3.5 Les résultats

Dans cette partie, nous présentons les résultats de la simulation en termes de nombre de clusters, délai d'attente moyen, durée de vie moyenne d'un véhicule dans un cluster et nombre de messages.

3.5.1 Le nombre des clusters

Les résultats de la simulation ont été analysés pour différents paramètres : un temps de 200, 300 et 400s, un rayon de 100, 200 et 300m, et un temps de maintenance de 10s. Les observations concernant le nombre de clusters formés dans le réseau VANET sont présentées dans la figure 23

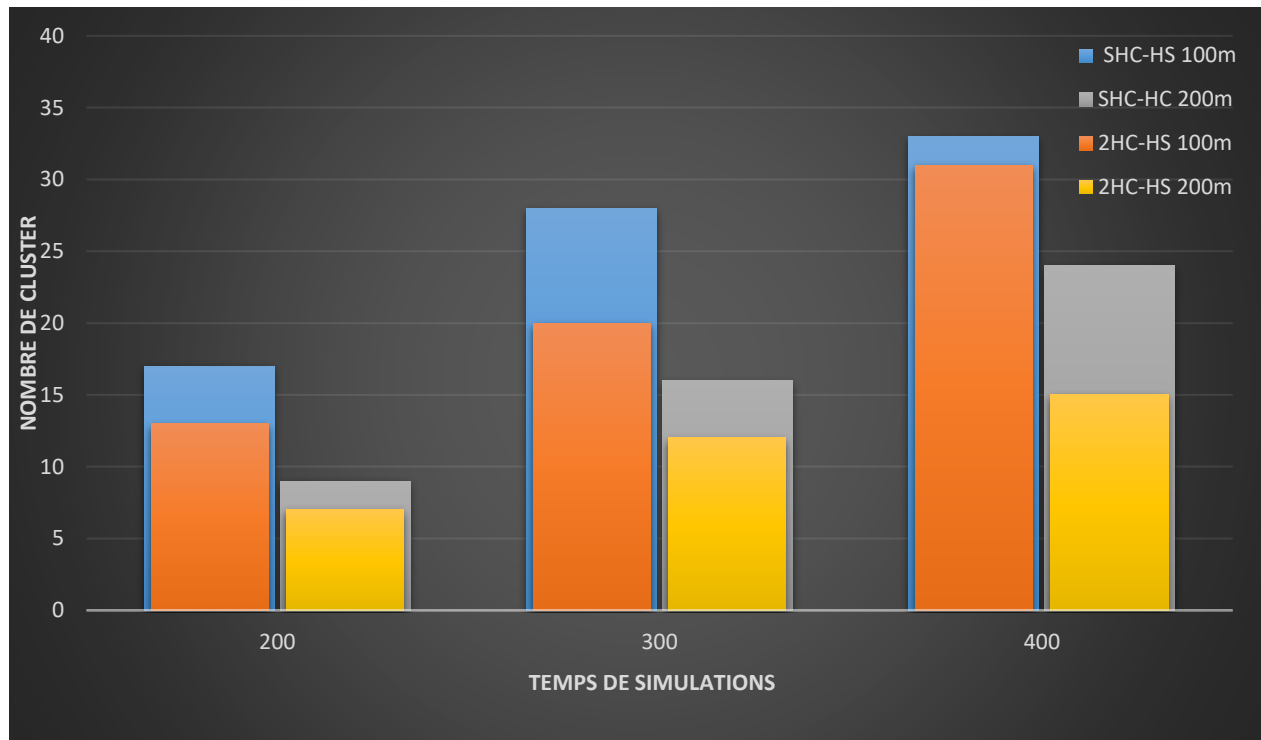


Figure 23 Nombre de cluster en fonction du temps et du rayon de transmission

Ces résultats mettent en évidence l'impact significatif du rayon de transmission sur la formation des clusters dans les algorithmes SHC-HS et 2HC-HS, plus la durée de simulation augmente plus le nombre de cluster augmente. Dans l'ensemble de la simulation, SHC-HS a tendance à former un nombre légèrement plus élevé de clusters par rapport à 2HC-HS. Ceci s'explique par le fait de la prise en charge des nœuds du deuxième saut par 2HC-HS.

3.5.2 Délai d'attente moyen

La **figure 24** illustre le délai d'attente moyen avant la sélection d'un CH, c'est la durée pendant laquelle un véhicule reste en dehors de cluster. Ces résultats s'obtiennent en additionnant le délai d'attente moyen de chaque véhicule par rapport au nombre total de véhicule au cours de la simulation. En variant la durée d'appel de la fonction de maintenance (5s, 10s et 15s) par rapport au temps de transmission 200s et un rayon de transmission de 200m, le délai d'attente moyen (sans CH) augmente. En comparant les deux algorithmes, on constate que les véhicules dans l'algorithme 2HC-HS prennent plus de temps avant de se connecter à un cluster que ceux dans l'algorithme SHS-HS. Cela peut être dû aux différences dans la manière dont les nœuds sont ajoutés mais également de la manière dont ils sont sélectionnés en tant que CH dans les deux algorithmes.

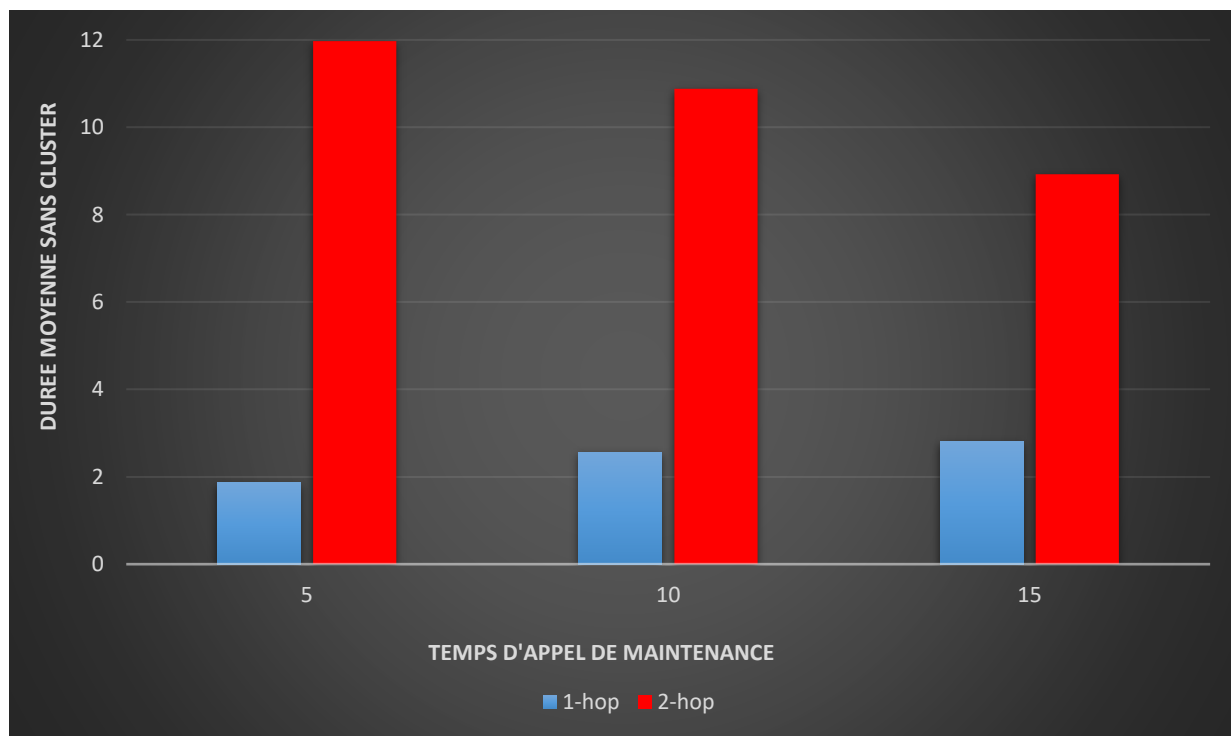


Figure 24 Durée moyenne sans cluster en fonction du temps de maintenance

3.5.3 Durée de vie moyenne d'un véhicule dans un cluster

C'est la durée moyenne d'un véhicule au sein d'un cluster. La simulation est faite avec un temps de transmission de 200s, un rayon de transmission de 100, 200, 300m et temps de maintenance de 10s. Ces résultats sont obtenus en calculant la moyenne du délai d'attente de chaque véhicule pendant la simulation et en le divisant par le nombre total de véhicules présents. Les résultats de la

figure 25 révèlent la différence entre les deux algorithmes de clustering en fonction du rayon de transmission. Pour l'algorithme SHC-HS, on observe que les véhicules restent en moyenne plus longtemps dans un cluster lorsque le rayon de transmission est de 100 mètres. Cela peut s'expliquer par le fait que, avec un rayon plus restreint, les véhicules sont plus proches les uns des autres et ont tendance à maintenir une communication prolongée au sein du même cluster. En revanche, pour l'algorithme 2HC-HS, les résultats indiquent que la durée moyenne d'un véhicule au sein d'un cluster est plus élevée avec un rayon de transmission de 200 mètres. Cela suggère que, grâce à sa capacité à couvrir une distance plus grande, l'algorithme 2HC-HS permet aux véhicules de rester connectés sur de plus longues périodes, même s'ils se trouvent à une certaine distance les uns des autres. En fin, les résultats suggèrent que l'algorithme 2HC-HS est plus performant en termes de durée de vie au sein d'un cluster, car il permet une communication étendue sur une distance plus grande par rapport à l'algorithme SHC-HS qui se limite à un saut.

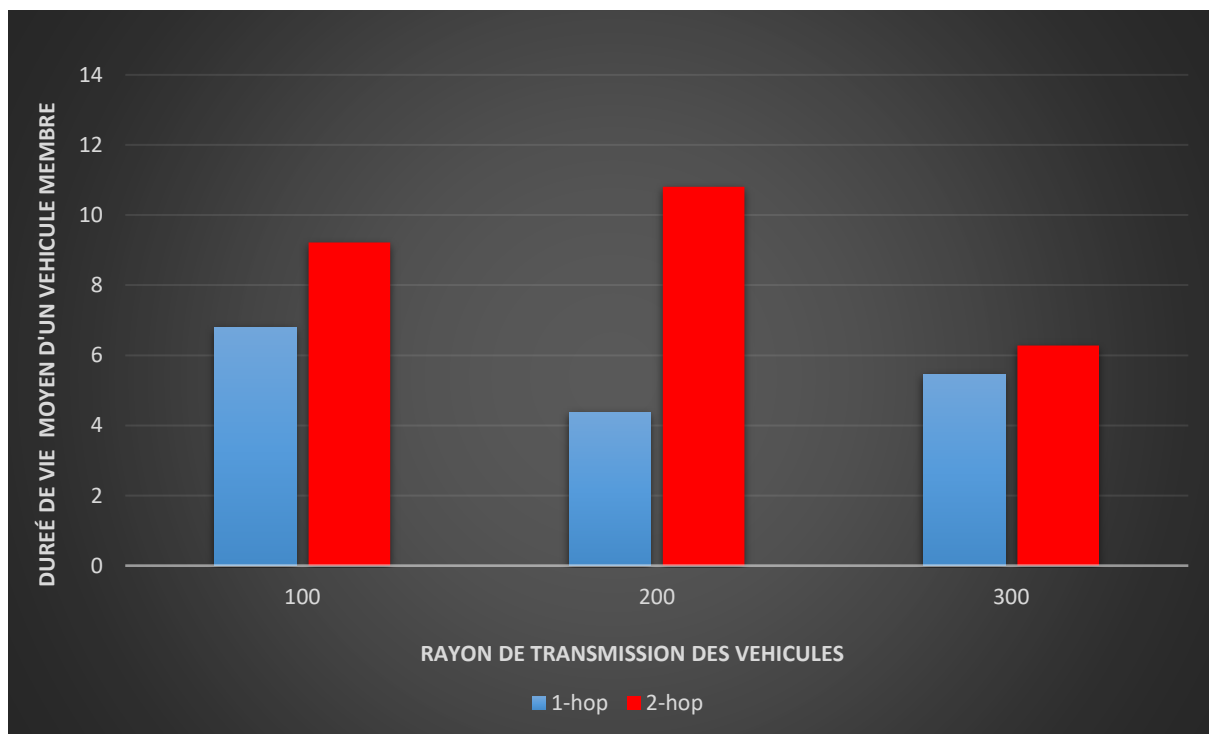


Figure 25. Durée de vie moyenne d'un CM dans un cluster

3.5.4 Nombre des messages Hello

Au cours de la simulation, les véhicules s'envoient mutuellement des messages pour se mettre à jour mais également pour échanger des diverses informations. En analysant de près les résultats des messages, on constate que, pour un rayon de transmission de 200 mètres et temps de simulation de 200 secondes, les deux algorithmes envoient approximativement le même nombre de messages.

Cependant, lorsque le rayon de transmission est étendu à 300 mètres et 400 mètres, on observe que l'algorithme 2HC-HS envoie un nombre plus élevé de messages par rapport à l'algorithme SHS-HS. Cela peut s'expliquer par le fait que l'algorithme 2HC-HS, qui fonctionne à deux sauts, nécessite une communication supplémentaire entre les nœuds pour atteindre les membres du cluster éloignés. La simulation a été réalisée avec une durée de 100, 200 et 300 secondes, un rayon de transmission de 200 mètres et un temps de maintenance de 10 secondes.

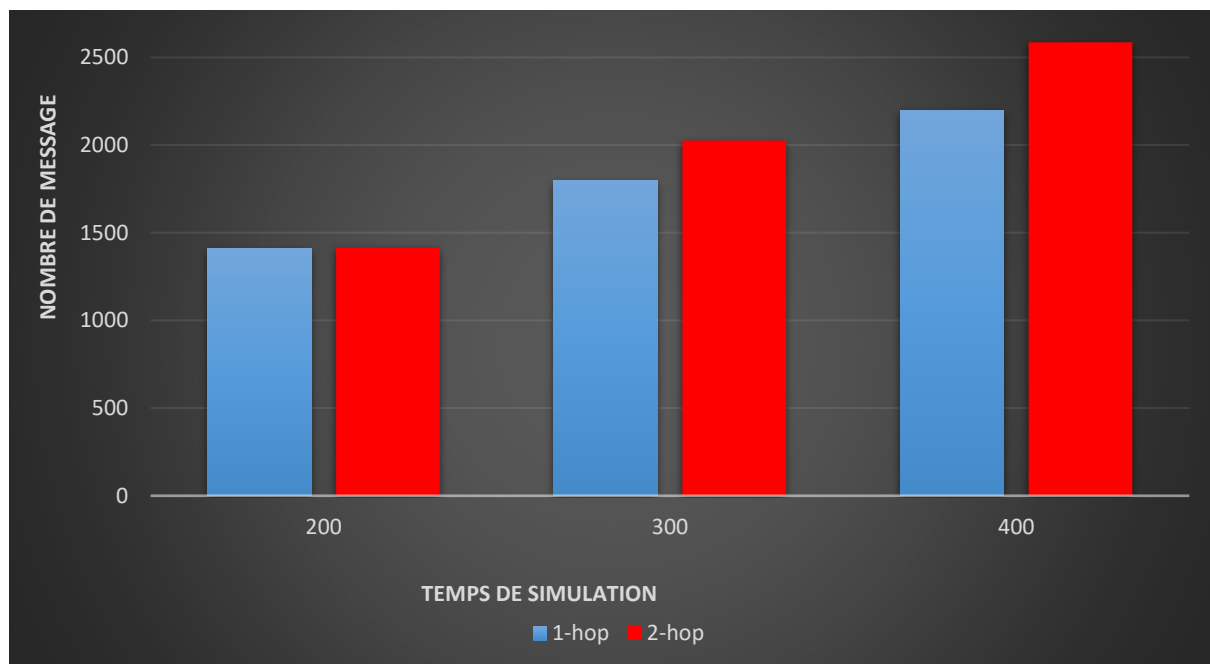


Figure 26 Nombre de message

3.6 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a présenté notre contribution et les simulations réalisées dans le cadre de notre étude. Nous avons proposé une extension de l'algorithme de clustering SHC-SH en

introduisant un algorithme de clustering à deux sauts, 2HS-SH. Nous avons réalisé des simulations en utilisant les simulateurs OMNeT++, VEINS et SUMO pour évaluer les performances de notre proposition. Ces simulateurs nous ont permis de simuler des scénarios réalistes de réseaux VANET et d'analyser les résultats obtenus.

Enfin, les simulations ont montré que notre proposition permet d'optimiser la formation des clusters et d'améliorer la stabilité du réseau VANET

Conclusion Générale et perspectives

Les techniques de clustering jouent un rôle essentiel dans la gestion efficace des communications et des ressources dans les réseaux VANET. Au cours de cette étude, plusieurs techniques de clustering ont été évaluées, telles que le clustering basé sur un saut et le clustering à k-saut. Chaque technique présente des avantages et des inconvénients en termes de performance. Les résultats de l'étude ont montré que le clustering basé sur k-saut (2 saut) offre une meilleure performance en termes de stabilité du cluster, de réduction du nombre de cluster et une durabilité dans un cluster, ce qui permet d'améliorer l'efficacité du réseau VANET. Cependant, cette technique peut entraîner une augmentation de la latence due aux traitements supplémentaires.

Comme travaux futurs à investiguer, nous prévoyons de:

- Modifier les approches proposées en introduisant la vitesse relative.
- Combinaison de techniques : Au lieu de se limiter à l'étude comparative de deux techniques de clustering à 1-saut et k-sauts, nous pouvons envisager de combiner différentes techniques de clustering pour obtenir de meilleures performances dans un réseau VANET. Par exemple, nous pouvons explorer des approches hybrides qui utilisent à la fois des techniques de clustering à 1-saut et k-saut pour former des clusters plus robustes et stables. Cette perspective permettrait d'explorer des nouvelles opportunités pour améliorer les performances des réseaux VANET.
- Extension de la comparaison : élargir l'étude comparative en incluant davantage de techniques de clustering dans l'analyse. Il existe de nombreuses approches de clustering disponibles dans la littérature, telles que le clustering hiérarchique, le clustering basé sur la densité, le clustering basé sur la modélisation probabiliste, etc. on pourra évaluer comment ces différentes techniques se comportent dans un réseau VANET et comparer leurs performances en termes de stabilité du cluster, de latence de communication, etc.

Bibliographie

- [1] Clicours. (n.d.). Les catégories de réseaux sans fils : La technologie Wi-Fi. Récupéré le 26 juin 2023, de <https://www.clicours.com/les-categorie-de-reseaux-sans-fils-la-technologie-wifi/>
- [2] Mcours. (n.d.). Réseau Sans fil : La technologie Wi-Fi [PDF]. Récupéré le 26 juin 2023, de http://www.mcours.net/cours/pdf/info/Reseau_Sans_fil_La_technologie_Wifi.pdf
- [3] Informatique Mania. (n.d.). Ad hoc réseau. Récupéré le 26 juin 2023, de <https://www.informatique-mania.com/linternet/ad-hoc-reseau/>
- [4] Wikipédia. (n.d.). Réseau ad hoc. Dans Wikipédia, l'encyclopédie libre. Récupéré le 26 juin 2023, de https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_ad_hoc
- [5] Katiyar, V., Agrawal, N., & Tewari, R. (2020). State-of-the-art Approach To Cluster Based Routing In Wireless Ad Hoc Network. *Wireless Personal Communications*, 111, 1535-1562. doi:10.1007/s11277-020-07828-5
- [6] Luo, J., & Shen, X. S. (2006). The Security and Privacy of Smart Vehicles. *IEEE Wireless Communications*, 13(5), 38-45. doi:10.1109/MWC.2006.276439
- [7] Chaib, N. (2011). La sécurité des communications dans les réseaux VANET (Mémoire de maîtrise). Université ELHADJ LAKHDER-BATNA, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Département d'Informatique.
- [8] Université de Béjaia. (n.d.). Techniques de contrôle de congestion dans les réseaux véhiculaires [PDF]. Récupéré le 26 juin 2023, de <https://www.univ-bejaia.dz/xmlui/bitstream/handle/123456789/12174/Techniques%20de%20contr%C3%B4le%20de%20congestion%20dans%20les%20r%C3%A9seaux%20v%C3%A9hiculaires.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] Adigun, A. (2013). Gestion de l'anonymat et de la traçabilité dans les réseaux véhiculaires sans fil (Mémoire de maîtrise). Département de Mathématiques et Informatique Appliquées, Université du Québec à Trois-Rivières.
- [10] Adetunji, A. (2014). Gestion de l'anonymat et de la traçabilité dans les réseaux véhiculaires sans fil (Thèse de doctorat). Département de Mathématiques et Informatique Appliquées, Université du Québec à Trois-Rivières.

Bibliographie

- [11] Burmester, M., Magkos, E., & Chrissikopoulos, V. (2008). Strengthening Privacy Protection in VANETs. Dans IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WIMOB) (p. 293-300). Avignon. E-ISBN: 978-0-7695-3393-3.
- [12] Choi, J., Jung, S., Kim, Y., & Yoo, M. (2009). A Fast and Efficient Handover Authentication Achieving Conditional Privacy in V2I Networks. Dans Proceedings of the 9th International Conference on Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking and Second Conference on Smart Spaces (pp. 291-300). St. Petersburg, Russia. Print ISBN 978-3-642-04188-4.
- [13] Jerbi, M. (2008). Protocoles pour les communications dans les réseaux de véhicules en environnement urbain : Routage et GeoCast basés sur les intersections (Thèse de doctorat). Université d'Evry Val d'Essonne.
- [14] Rivaton, O. (2016). Le routage de l'information dans les réseaux véhiculaires mobiles (Mémoire de l'Université LAVAL). Québec, Canada.
- [15] Dadoun, O., & Guendouz, O. (2017). Mémoire de fin d'études de MASTER ACADEMIQUE en Télécommunication et réseaux (Mémoire). Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Faculté de Génie Électrique et d'Informatique, Département d'Électronique.
- [16] Haddadou, N. (2014). Réseaux Ad Hoc véhiculaires : vers une dissémination de données efficace, coopérative et fiable (Thèse de doctorat). Université Paris-Est.
- [17] Ajmal, S., Rasheed, A., & Hasan, A. (2014). Classification of VANET MAC, Routing and Approaches A Detailed Survey. Journal of Universal Computer Science, 20(4), 462-487.
- [18] Meraihi, Y. (2011). Routage Dans Les Réseaux Véhiculaires (Vanet) Cas D'un Environnement Type Ville (Mémoire de Magister en Génie Électrique). Université M'Hamed Bougara - Boumerdes.
- [19] Nagaraj, U., Kharat, M. U., & Dhamal, P. (2011). Study of Various Routing Protocols in VANET. International Journal of Computer Science & Technology, 2(4), 182-186.
- [20] CiteSeerX. (n.d.). Consulté le 15 juin 2023, de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=06aec02b6b1ba4fee69ad43391468bb124c67613>
- [21] Dhamal, P., et al. (2011). Broadcasting Routing Protocols in VANET. Oriental Journal of Computer Science & Technology, 4(2), 393-398.
- [22] MOHAMED BOUARIR, « Protocole de routage intelligent pour les réseaux ad hoc de véhicules », Mémoire de l'Université de Québec En Abitibi-Témiscamingue, Soutenu Octobre 2012, 138 pages.

- [23] Kumar, S., et al. (2011). Qualitative Based Comparison of Routing Protocols for VANET. *Journal of Information Engineering and Applications*, 1(4), 38-46.
- [24] Venkatesh, I. A., & Murali, R. (2012). Réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) : problèmes et applications. *Journal d'analyse et de calcul*, 8(1), 31-46.
- [25] Saha, A. K., & Johnson, D. B. (2004). Modeling mobility for vehicular ad hoc networks. *ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks (VANET)*, 91-92.
- [26] Venkatesh, A., & Murali, R. (2014). Protocoles de routage pour les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) : une revue. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*, 5(1), 25-43.
- [27] ALLAL, S. (2014). Optimisation des échanges dans le routage géocast pour les réseaux de Véhicules Ad Hoc VANETs (Thèse de doctorat). Université de PARIS NORD 13.
- [28] Atéchian, T. (2010). Protocole de routage géo-multipoint hybride et mécanisme d'acheminement de données pour les réseaux ad hoc de véhicules (VANETs) (Mémoire de doctorat). Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [32] (n.d.). Consulté le 15 juin 2023, Récupéré sur <https://ieeexplore.ieee.org/document/7458115>
- [33] IEEE P1609.4. (2006). Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation. IEEE Computer Society.
- [34] Kahina, A. A. (2012). Modélisation Et Etude De Performances Dans Les Réseaux VANET (Thèse de doctorat). Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.
- [35] Senouci, O. (2019). Application de l'Approche Clustering dans le Contexte de l'IoV (Thèse de doctorat).
- [36] Vèque, V., & Johnen, C. (2012). Hiérarchisation dans les réseaux ad hoc de véhicules.
- [37] Senouci, O., Harous, S., & Aliouat, Z. (2020). Survey on vehicular ad hoc networks clustering algorithms: Overview, taxonomy, challenges, and open research issues. *International Journal of Communication Systems*, e4402.
- [38] Cooper, C., Franklin, D., Ros, M., Safaei, F., & Abolhasan, M. (2016). A comparative survey of vanet clustering techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 19(1), 657-681.
- [39] Rop, K. V., Langat, P. K., & Ouma, H. A. (2019). Enhanced cluster stability in vehicular ad hoc network.
- [40] Mejri, N., & Kamoun, F. (s. d.). Algorithme de Routage Hiérarchique MHEED à Plusieurs Sauts pour Les Grands Réseaux de Capteurs. Laboratoire Cristal pôle RAMSIS, Ecole Nationale des sciences de l'Informatique (ENSI), Manouba 2010.

Bibliographie

- [29] Task Group p. IEEE P802.11p. Wireless access in vehicular environments (WAVE). IEEE Computer Society, 2006.
- [41] Belding-Royer, E. M. (2002). Hierarchical Routing in Ad Hoc Mobile Networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2(5), 515–532.
- [42] Ahwazi, A. Z., & NooriMehr, M. R. (2016). MOSIC: Mobility-Aware Single-Hop Clustering Scheme for Vehicular Ad hoc Networks on Highways. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(9).
- [43] Zhang, D., Ge, H., Zhang, T., Cui, Y-Y., Liu, X., & Mao, G. (2018). New Multi-Hop Clustering Algorithm for Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 67(7), 6083-6093. doi: 10.1109/TVT.2018.2818419.
- [44] Maslekar, N., Mouzna, J., Labiod, H., Devisetty, M., & Pai, M. (2011). Modified c-drive: Clustering based on direction in vehicular environment. In 2011 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 845–850. IEEE.
- [45] Ucar, S., Coleri Ergen, S., & Ozkasap, O. (2013). VMaSC: Vehicular Multi-hop algorithm for Stable Clustering in Vehicular Ad Hoc Networks. In 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), 1902-1906. doi: 10.1109/ICC.2013.6654808.
- [46] ADC-DRC. (s. d.). Réseaux informatiques. Récupéré sur <https://adc-drc.com/fr/reseaux-informatique/>
- [47] Wapiti. (s. d.). Les Réseaux Wi-Fi. Récupéré sur http://wapiti.enic.fr/commun/ens/peda/options/ST/RIO/pub/exposes/exposesrio2008-ttnfa2009/Naitbelle-Estevao/presentation_wifi.html
- [48] Kaur, R., Ramachandran, R. K., Doss, R., & Pan, L. (2021). The importance of selecting clustering parameters in VANETs: A survey. *Computer Communications*, 176, 75-89. doi: 10.1016/j.comcom.2021.02.026.
- [49] Hsu, C. (2010). WAVE/DSRC Development and Standardization. Industrial Technology Research Institute, Information & Communications Research Laboratories, Telematics & Control System Division, October 01, 2010.
- [50] Cheng, H., & Liu, Y. (2021). An Improved RSU-based Authentication Scheme for VANET. Mémoire de maîtrise, Guilin University of Electronic Technology, China.
- [51] Bouzebiba, H., & Bouizem, Y. (2015). Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (v2v). Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de master en informatique, université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen, spécialité réseaux et systèmes distribués.

Bibliographie

[52] Petit, J. (2011). Surcoût de l'authentification et du consensus dans la sécurité des réseaux sans fil véhiculaires. Mémoire de l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, 13 Juillet 2011.

[53] Boussadia, A., Bouderkha, M., & Khelifi, M. (2020). Routage basé sur le clustering dans les réseaux VANETs. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de master en informatique, Option: Réseaux et sécurité.

[54] Kamakshi, S., & Sriram, V. S. S. (2019). Plummeting broadcast storm problem in highways by clustering vehicles using dominating set and set cover. *Sensors*, 19(9), 2191.

[55] Edwards, A., Santns, R. A., Edwards, R. M., & Belis, D. (2004). A novel cluster-based location routing algorithm for intervehicular communication. In *Indoor and Mobile Radio Communications*. IEEE.

[56] Guizani, B. (2012). Algorithmes de clustérisation et routage dans les réseaux Ad Hoc. Université de Technologie de Belfort-Montbéliard; Université de la Manouba (Tunisie). *Ordinateur et société* [cs.CY]. (in French)

[57] Lazreug, F. Z., & Kouadri, A. (2019). Étude de la stabilité des clusters dans un réseau ad-hoc véhiculaire. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Informatique, Université de Mostaganem.

[58] Bouzelata, H. (2015). Étude sur la conservation de l'énergie au niveau MAC des réseaux de capteurs sans fil (RCSF) et leur Simulation en utilisant le simulateur Castalia sur la plateforme OMNET++. Mémoire de fin d'études, Université de Ain Beida.

[59] Varga, A. (1999). Using the OMNET++ discrete event simulation system in education. *IEEE Transactions on Education*, 42(4).

[60] Daniel, K. (2002). SUMO (Simulation of Urban MObility): An open-source traffic simulation. Conference paper.