

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université de Mohamed El Bachir El Ibrahimi de Bordj Bou Arréridj  
Faculté des Mathématiques et d'Informatique  
Département d'informatique



## MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme  
**Master en informatique**  
Spécialité : Réseaux & Multimédias

## THEME

Une nouvelle approche de clustering pour les réseaux  
véhiculaires modernes (IoV)

*Présenté par :*

SEDIRA Chaima

BENLALA Hana

*Soutenu publiquement le : JJ/06/2023*

*Devant le jury composé de :*

**Président :** .....

**Examineur :** .....

**Encadrent :** Mr. SENOUCI Oussama

**2022/2023**

# Dédicace

Je tiens à exprimer ma gratitude à moi-même pour ma patience, ma détermination et mon engagement à atteindre mes objectifs. Ce mémoire est le fruit de mon travail continu et de ma passion dans ce domaine, et je le dédie à mes parents pour leur amour inconditionnel, leur soutien inébranlable et leur encouragement constant tout au long de ce parcours académique. Vous êtes ma source d'inspiration et ma force motrice.

À mes amis proches, je vous remercie pour votre précieuse amitié et votre encouragement tout au long de cette aventure. Vos encouragements et votre soutien ont été essentiels pour surmonter les obstacles.

À mes enseignants, je vous remercie pour votre expérience, votre passion pour l'enseignement et votre dévouement à m'aider à atteindre mes objectifs. Vos connaissances et vos conseils ont été inestimables dans mon parcours académique.

À tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à l'achèvement de ce mémoire, j'exprime ma profonde gratitude. Votre soutien était indispensable, et je vous suis reconnaissant du fond du cœur.

★ *Chaima* ★

# Dédicace

Il est difficile de trouver les mots justes, car aucune lettre ne peut exprimer pleinement la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance. C'est pourquoi je dédie humblement ce travail à MES PARENTS.

A MES GRAND PARENTS Surtout mon grand père "LAYACHI" que j'ai perdu cette année , rahimaka Allah que tu vives dans nos cœur.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma reconnaissance à mon superviseur, OUSSAMA SENOUCI, pour sa précieuse supervision et son bon traitement.

Je suis reconnaissant envers tous mes PROFESSEURS, qui ont été la raison de l'acquisition de connaissances et de valeurs morales.

Je remercie KARIMA MAHSSACE, qui a été la raison de mes études dans ce domaine et le soutien principal pour moi, ainsi que ma principale préoccupation pour mon excellence.

Je m'adresse également à moi-même, car j'ai dû surmonter de nombreux obstacles pour atteindre ce niveau. Je tiens à exprimer ma gratitude pour ma patience, ma détermination et mon engagement à atteindre mes objectifs. Ce mémoire est le fruit de mon travail inlassable.

À mes AMIS proches, je vous remercie pour votre amitié précieuse et votre soutien tout au long de cette aventure. Vos encouragements ont été essentiels pour surmonter les obstacles.

★ *Hana* ★

# Remerciement

Nous exprimons notre gratitude envers Allah pour nous avoir accordé des connaissances scientifiques et cette opportunité de travail. Nous souhaitons exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude au professeur superviseur SENOUCI OUSSAMA pour tous ses efforts remarquables, témoignant ainsi notre plus grande louange et appréciation.

En signe de reconnaissance, nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de nos stages de fin d'études et à l'élaboration de ce modeste travail. Nous exprimons notre profonde gratitude envers tous les enseignants pour la qualité exceptionnelle de leurs enseignements, leurs conseils précieux ainsi que leur soutien indéniab le envers tous les étudiants. Nous souhaitons remercier l'ensemble du personnel pour leur patience, leurs conseils avisés, leur suivi attentif et leur intérêt manifeste envers notre travail. Dans l'impossibilité de citer tous les noms, nos remerciements sincères vont à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire grâce à leurs conseils et leurs compétences.

Enfin, nous n'oublions pas de remercier chaleureusement l'ensemble du corps professoral de l'Université Mohamed El Bachir El Ibrahim i pour l'énorme travail qu'ils accomplissent afin de créer les conditions les plus favorables pour le bon déroulement de nos études. Merci à tous.

# Résumé

Ce mémoire se concentre sur l'amélioration et la garantie de la stabilité des réseaux Internet des véhicules, en mettant particulièrement l'accent sur le développement d'une approche de clustering pour répondre aux exigences de l'environnement des voitures connectées à Internet. L'objectif général de ce travail est de concevoir, modéliser et simuler un nouvel algorithme de clustering pour les réseaux véhiculaires modernes.

La recherche commence par une revue critique de la littérature portant sur différents algorithmes de clustering proposés pour les réseaux véhiculaire traditionnels, afin d'identifier les problèmes en suspens ou les solutions proposées nécessitant une amélioration. Ensuite, un nouvel algorithme de clustering pour les réseaux véhiculaires est proposé, visant à améliorer leurs performances et à fournir un niveau élevé de service requis pour la fonctionnalité de ces réseaux.

L'approche proposée implique l'utilisation d'un poids lors de la sélection des chefs de cluster et de la formation des clusters. Ce poids est calculé individuellement par chaque véhicule du réseau, en prenant en compte plusieurs mesures telles que la vitesse, l'accélération, le voisinage et la distance moyenne entre les véhicules. L'objectif de cette approche est de réduire considérablement les coûts globaux du réseau, de diminuer le temps nécessaire pour accéder au réseau et d'augmenter le taux de livraison entre les véhicules connectés qui se déplacent à grande vitesse.

Une analyse et une simulation ont été réalisées pour évaluer l'algorithme proposé en utilisant un simulateur de réseau et un générateur de mobilité, et les résultats ont montré une amélioration par rapport aux algorithmes de base proposés dans la littérature.

**Mots clés :** VANET, IoV, Clustering Pondéré.

# Abstract

This dissertation focuses on improving and ensuring the stability of Internet of Vehicles (IoV) networks, with a particular emphasis on developing a clustering approach to meet the requirements of the connected car environment. The overall objective of this work is to design, model, and simulate a new clustering algorithm for modern vehicular networks.

The research begins with a critical review of the literature on various clustering algorithms proposed for traditional vehicular networks, in order to identify unresolved issues or proposed solutions in need of improvement. Subsequently, a new clustering algorithm for vehicular networks is proposed, aiming to enhance their performance and provide a high level of service required for the functionality of these networks.

The proposed approach involves the use of weights during the selection of cluster heads and the formation of clusters. These weights are individually calculated by each vehicle in the network, taking into account several metrics such as velocity, acceleration, neighborhood index, and average relative distance between vehicles. The objective of this approach is to significantly reduce overall network costs, decrease the time required to access the network, and increase the delivery rate among connected vehicles moving at high speeds.

An analysis and simulation were conducted to evaluate the proposed algorithm using a network simulator and mobility generator, and the results demonstrated an improvement compared to the basic algorithms proposed in the literature.

**Keywords :** VANET, IoV, Clustering, Weighted.

## ملخص

تركز هذه المذكرة على تحسين وضمان استقرار شبكات الإنترنت للمركبات، مع التركيز بشكل خاص على تطوير نهج التجميع لتلبية متطلبات سيارات الإنترنت المتصلة. الهدف العام من هذا العمل هو تصميم ونمذجة ومحاكاة خوارزمية تجميع جديدة لشبكات المركبات الحديثة.

تبدأ البحث بمراجعة نقدية للأدب حول مجموعة متنوعة من خوارزميات التجميع المقترحة لشبكات المركبات التقليدية، بهدف تحديد المسائل العالقة أو الحلول المقترحة التي تحتاج إلى تحسين. بعد ذلك، يتم اقتراح خوارزمية تجميع جديدة لشبكات المركبات، بهدف تعزيز أدائها وتوفير مستوى عالٍ من الخدمة المطلوبة لوظيفة هذه الشبكات.

تستخدم النهج المقترح وزناً أثناء مرحلة انتخاب رؤساء التجمع وتكوين التجمعات. يتم حساب هذا الوزن محلياً من قبل كل مركبة في الشبكة باستخدام العديد من المقاييس مثل السرعة والتسارع ومؤشر الجوار والمسافة النسبية المتوسطة. هدف هذا العمل هو تقليل تكاليف الشبكة بشكل كبير، وتقليل وقت الوصول إلى الشبكة، وزيادة معدل التسليم بين المركبات المتصلة المتحركة بسرعة عالية.

تم إجراء تحليل ومحاكاة لتقييم الخوارزمية المقترحة باستخدام محاكي الشبكة ومولد الحركة، وأظهرت النتائج تحسناً مقارنة بالخوارزميات الأساسية المقترحة في الأدب.

الكلمات المفتاحية : شبكات المركبات الذكية، شبكات الإنترنت للمركبات، التجميع، الوزن

# Table des matières

<b>Liste des abréviations</b>	<b>xi</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>xii</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Généralités sur l’Internet des Véhicules</b>	<b>4</b>
1.1 Introduction . . . . .	4
1.2 Définitions . . . . .	4
1.3 VANET vers IoV : Un aperçu . . . . .	5
1.4 Composants d’un réseau véhiculaire . . . . .	5
1.4.1 Véhicule . . . . .	5
1.4.2 Road Side Unit (RSU) . . . . .	5
1.4.3 Autorité de Confiance (CA) . . . . .	6
1.4.4 On-Board Unit (OBU) . . . . .	6
1.4.5 Transportation Contrôle Center (TCC) . . . . .	6
1.4.6 Vehicular Cloud Computing (VCC) . . . . .	6
1.5 Architecture de communication des réseaux IoV . . . . .	7
1.5.1 Communication véhicule à véhicule (V2V) . . . . .	7
1.5.2 Communication véhicules à infrastructure (V2I) . . . . .	8
1.5.3 Communication infrastructure à infrastructure (I2I) . . . . .	8
1.5.4 Communication véhicule à Cloud (V2C) . . . . .	8
1.5.5 Communication véhicule à Personne (V2P) . . . . .	9
1.5.6 Communication véhicule au réseau (V2N) . . . . .	9
1.5.7 Communication hybride . . . . .	9



1.6	Technologies d'accès pour les réseaux IoV . . . . .	9
1.6.1	Technologie LAN sans fil (WLAN) . . . . .	9
1.6.2	Technologie WiMAX : . . . . .	10
1.6.3	Technologie sans fil cellulaire . . . . .	10
1.6.4	Technologie satellite . . . . .	10
1.7	Applications des réseaux IoV . . . . .	11
1.7.1	Application basée sur la sécurité . . . . .	11
1.7.2	Application basée sur le confort . . . . .	11
1.8	Caractéristiques et défis des réseaux IoV . . . . .	12
1.8.1	Environnement de communication et Modèle de mobilité . . . . .	12
1.8.2	Topologies des réseaux et des collectivités . . . . .	12
1.8.3	Taille des réseaux . . . . .	13
1.9	Outils de simulation et modèles de mobilité pour les réseaux IoV . . . . .	13
1.10	Conclusion . . . . .	14
<b>2</b>	<b>État de l'art sur les algorithmes de clustering pour IoV</b>	<b>15</b>
2.1	Introduction . . . . .	15
2.2	Méthodologie de l'enquête . . . . .	16
2.3	Clustering dans les Réseaux IoV : Un Aperçu . . . . .	16
2.4	Bref Historique . . . . .	17
2.5	Concepts de base de clustering . . . . .	17
2.5.1	Structure du cluster . . . . .	17
2.5.2	Métriques d'élection des chefs de clusters (CHs) . . . . .	18
2.5.3	Flux procédural du processus de clustering . . . . .	18
2.6	Classification des Algorithmes de clustering les réseaux VANETs . . . . .	20
2.6.1	Algorithmes de clustering des réseaux MANET . . . . .	20
2.6.2	Algorithmes de clustering basée sur la position . . . . .	22
2.6.3	Algorithmes de clustering basés sur la mobilité . . . . .	23
2.6.4	Algorithmes de clustering basés sur la destination . . . . .	25
2.7	Limitations des algorithmes de clustering existants . . . . .	26
2.8	Conclusion : . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Contribution</b>	<b>28</b>

3.1	Introduction . . . . .	28
3.2	Approche proposée . . . . .	28
3.2.1	Hypothèses : . . . . .	29
3.2.2	Modèle de réseau . . . . .	30
3.2.3	Architecture du Réseau IoV : . . . . .	30
3.2.4	Phase d'initialisation . . . . .	31
3.2.5	Phase d'élection des Chefs de clusters et formation des clusters . . . . .	33
3.2.6	Exemple illustratif . . . . .	34
3.2.7	Phase de maintenance . . . . .	36
3.2.8	Analyse théorique (complexité) . . . . .	37
3.3	Conclusion . . . . .	38
<b>4</b>	<b>Simulation et évaluation</b>	<b>39</b>
4.1	Introduction . . . . .	39
4.2	Environnement de simulation . . . . .	39
4.2.1	Présentation du simulateur NS-2 . . . . .	40
4.2.2	Présentation du générateur de mobilité VanetMobiSim . . . . .	40
4.2.3	Modèle de mobilité IDM-LC . . . . .	41
4.3	Métriques d'évaluation . . . . .	41
4.3.1	Durée de Vie de Réseau . . . . .	42
4.4	Évaluation des Performances . . . . .	42
4.5	Choix des coefficients . . . . .	43
4.5.1	Durée de vie de CH (CHL) . . . . .	43
4.5.2	Durée de vie de CM (CML) . . . . .	44
4.5.3	Nombre de clusters . . . . .	45
4.5.4	Clustering overhead . . . . .	46
4.6	Conclusion . . . . .	47
	<b>Références</b>	<b>50</b>

# Liste des abréviations

<b>CA</b>	Autorite de confiance
<b>CH</b>	Cluster Head
<b>CM</b>	Cluster Member
<b>GPS</b>	Global Positioning System
<b>IoV</b>	Internet Of Vehicles
<b>IoT</b>	Internet of things
<b>OBU</b>	On Board unit
<b>RSU</b>	Roadside unit
<b>VANET</b>	Vehicular Ad hoc NETwork
<b>TA</b>	Trusted Authority
<b>V2V</b>	Vehicle to Vehicle
<b>V2I</b>	Vehicle to Internet
<b>WLAN</b>	wireless Local Area Network
<b>WIMAX</b>	Worldwide Interoperability for Microwave Access

# Table des figures

1.1	Architecture de communication des réseaux IoV. . . . .	7
1.2	Technologies d'accès des réseaux IoVs. . . . .	10
2.1	Taxonomie des Algorithmes de clustering dans les réseaux VANET. . . . .	21
3.1	Structure de réseau pour notre approche. . . . .	30
3.2	Processus d'élection des CHs et formation des clusters. . . . .	34
3.3	Exemple d'élection des CHs et formation des clusters. . . . .	35
4.1	Durée de vie de CH par rapport la vitesse. . . . .	44
4.2	Durée de vie de CM . . . . .	45
4.3	Nombre de clusters. . . . .	46
4.4	Clustering overhead . . . . .	47

# Liste des tableaux

3.1	Exemples d'élection de CH selon la formule proposée . . . . .	36
4.1	Tableau des paramètres des Simulations. . . . .	43

# Introduction Générale

L'Internet des véhicules (IoV) est une discipline qui intègre les technologies de l'information et de la communication à l'industrie automobile. Dans cette introduction, nous commencerons par exposer le contexte et les problématiques inhérentes à cette recherche, puis nous décrirons les objectifs et les apports de ce mémoire. Enfin, nous fournirons une présentation détaillée de la structure de ce rapport.

## Contexte & problématique

Les réseaux de véhicules ad hoc (VANET) ont connu un développement considérable en raison des divers besoins en matière de sécurité et de confort exprimés par les conducteurs et les passagers. Cependant, avec l'émergence de l'Internet des objets (IoT), les VANET traditionnels ont évolué vers un nouveau modèle appelé Internet des véhicules (IoV). Ce concept révolutionnaire a transformé les voitures en objets mobiles intelligents dotés de capteurs avancés et de technologies de communication. L'IoV présente de nombreux avantages, tels que le développement des systèmes de transport intelligents dans divers domaines et la capacité à intégrer plusieurs utilisateurs, véhicules et réseaux utilisant différentes technologies de communication.

Cependant, l'IoV fait face à plusieurs défis. Il s'agit notamment de l'intégration de tous les composants et des connexions d'objets dans l'écosystème de l'IoT, de l'augmentation rapide du nombre de véhicules et d'objets connectés, ainsi que du traitement et du stockage des mégadonnées générées par le grand nombre de véhicules connectés.

Dans cette étude, nous nous concentrons sur la technologie de clustering, largement utilisée dans les réseaux de véhicules pour améliorer les performances du système IoT et répondre à ses exigences. Chaque Cluster de véhicules est composé d'un chef de

cluster et de membres du cluster. Les véhicules sont comparés les uns aux autres en fonction de métriques telles que la mobilité, les échelles pondérées, la localisation et les informations sur les voisins, afin de rejoindre le même cluster. Le processus de clustering comprend plusieurs étapes, telles que la découverte de quartier, la sélection du chef de cluster, la publicité, l'affiliation et l'entretien.

L'objectif du clustering est de répartir équitablement les tâches les plus coûteuses dans le réseau afin d'éviter la congestion. En utilisant cette approche, il est possible de garantir de bonnes performances même avec un grand nombre de nœuds sans compromettre les performances globales du réseau.

## **Objectifs & Contributions**

Ce travail se concentre sur l'amélioration et la garantie de la stabilité des réseaux Internet des véhicules, en mettant particulièrement l'accent sur le développement d'une approche de clustering pour répondre aux exigences de l'environnement des voitures connectées à Internet. L'objectif général de ce travail est de concevoir, modéliser et simuler un nouvel algorithme de clustering pour les réseaux véhiculaires modernes.

La recherche commence par une revue critique de la littérature portant sur différents algorithmes de clustering proposés pour les réseaux véhiculaire traditionnels, afin d'identifier les problèmes en suspens ou les solutions proposées nécessitant une amélioration. Ensuite, un nouvel algorithme de clustering pour les réseaux véhiculaires est proposé, visant à améliorer leurs performances et à fournir un niveau élevé de service requis pour la fonctionnalité de ces réseaux.

L'approche proposée implique l'utilisation d'un poids lors de la sélection des chefs de cluster et de la formation des clusters. Ce poids est calculé individuellement par chaque véhicule du réseau, en prenant en compte plusieurs mesures telles que la vitesse, l'accélération, le voisinage et la distance moyenne entre les véhicules. L'objectif de cette approche est de réduire considérablement les coûts globaux du réseau, de diminuer le temps nécessaire pour accéder au réseau et d'augmenter le taux de livraison entre les véhicules connectés qui se déplacent à grande vitesse.

Une analyse et une simulation ont été réalisées pour évaluer l’algorithme proposé en utilisant un simulateur de réseau et un générateur de mobilité, et les résultats ont montré une amélioration par rapport aux algorithmes de base proposés dans la littérature.

## Structure du rapport

Le rapport se divise en quatre chapitres, qui sont structurés de la manière suivante :

- **Chapitre 1 :** Ce chapitre offre un contexte informatif sur l’Internet des véhicules (IoV), en décrivant son architecture, ses caractéristiques, les défis auxquels il fait face, ainsi que les technologies de communication et les applications associées à ce domaine.
- **Chapitre 2 :** Ce chapitre présente l’état de l’art concernant les algorithmes de clustering pour les VANETs dans la littérature. Dans cette optique, une nouvelle taxonomie de classification, basée sur différentes mesures, est proposée. Ensuite, nous classifions et examinons un certain nombre d’algorithmes de clustering récents proposés dans la littérature, en les catégorisant selon cette taxonomie. À cette étape, nous nous efforçons d’identifier certains problèmes encore ouverts ou dont les solutions proposées nécessitent des améliorations, dans le but de proposer de nouvelles approches de clustering adaptées à l’IoV.
- **Chapitre 3 :** Dans ce chapitre, nous présentons un nouvel algorithme de clustering spécifiquement conçu pour les réseaux IoV. L’objectif de cet algorithme est d’améliorer les performances de ces réseaux et de fournir le niveau de service requis pour assurer leur bon fonctionnement.
- **Chapitre 4 :** Dans ce chapitre, une analyse approfondie et des simulations ont été effectuées afin d’évaluer l’algorithme proposé. Pour ce faire, un simulateur de réseau ainsi qu’un générateur de mobilité ont été utilisés. Les résultats obtenus ont démontré une nette amélioration par rapport aux algorithmes de base précédemment proposés dans la littérature.



# Chapitre 1

## Généralités sur l'Internet des Véhicules

### 1.1 Introduction

Dans un monde où Internet est devenu un pilier essentiel de notre vie quotidienne, l'émergence de l'Internet des objets (IoT) a suscité de nombreuses questions sur sa nature, son fonctionnement et ses avantages. L'IoT est un système qui connecte des appareils informatiques, des machines mécaniques et numériques, ainsi que des objets, leur permettant de transmettre des données sur un réseau sans nécessiter d'interaction humaine ou informatique directe. L'IoT a considérablement amélioré notre façon de vivre et de travailler, en introduisant des appareils intelligents dans notre environnement domestique et en offrant des opportunités précieuses aux entreprises. De plus, l'IoT a donné lieu au développement des réseaux Véhicules Ad-hoc Network (VANET), des réseaux spécialement conçus pour les véhicules. Ces VANET traditionnels ont évolué vers un nouveau modèle appelé Internet des véhicules (IoV). Dans ce chapitre, nous abordons les concepts fondamentaux de l'Internet des véhicules (IoV) afin de développer une compréhension approfondie des principaux aspects de ce domaine.

### 1.2 Définitions

L'Internet des véhicules (IoV) est un réseau de véhicules équipés de capteurs et de technologies interconnectées permettant l'échange de données via Internet, conformément à des normes préétablies. L'écosystème de l'IoV repose sur une infrastructure et

des architectures modernes qui répartissent la charge de calcul sur plusieurs unités de traitement au sein du réseau. La technologie IoV est souvent associée aux discussions sur les villes intelligentes et les véhicules autonomes, et elle englobe un ensemble de véhicules intelligents dotés de capteurs, de contrôleurs et d'actionneurs avancés. Ces éléments permettent une détection environnementale complexe des véhicules, ainsi que la prise de décisions intelligentes et le contrôle des actions [1].

### **1.3 VANET vers IoV : Un aperçu**

L'avènement de l'IoT a entraîné une évolution des réseaux VANET pour l'Internet des véhicules (IoV). Ce type de réseau est principalement constitué de modules embarqués sur les véhicules (unité embarquée ou OBU) et de stations installées sur la route (unité routière ou RSU). Les réseaux VANET devraient être un élément essentiel des villes intelligentes et des systèmes de transport intelligents (STI), où les applications visent à réduire la pollution et la congestion, améliorer la mobilité des véhicules, prévenir les accidents et garantir des routes plus sûres [2].

## **1.4 Composants d'un réseau véhiculaire**

### **1.4.1 Véhicule**

Le composant central du réseau automobile est similaire à un objet équipé d'une plateforme à capteurs multiples, de technologies de communication et d'unités de calcul interconnectées via Internet.

### **1.4.2 Road Side Unit (RSU)**

Un ordinateur positionné le long des routes assure la connectivité entre les véhicules et leur environnement via Internet. Il offre divers services tels que la gestion de la sécurité, la diffusion et la collecte de données, ainsi que l'assistance à la circulation.

### 1.4.3 Autorité de Confiance (CA)

L'autorité de Confiance (CA) est responsable de la gestion et de l'enregistrement de toutes les entités du réseau (OBU, RSU). La TA reconnue tous les identifiants de véhicules couramment utilisés, en particulier lorsqu'ils sont nécessaires dans le cadre de l'application de la loi.

### 1.4.4 On-Board Unit (OBU)

Le composant principal de l'architecture est représenté par un objet intelligent doté d'une plateforme à capteurs multiples puissante, d'une connexion IP à Internet et de la capacité à interagir avec d'autres véhicules.

### 1.4.5 Transportation Contrôle Center (TCC)

Spécifiquement conçu pour prendre en charge diverses applications de sécurité, il permet de fournir des fonctionnalités telles que l'alerte en cas d'accident, les avertissements de violation de signal et la détection des congestions routières. Il offre également des applications liées aux risques, notamment l'accès à Internet via un téléphone et le téléchargement de musique.

### 1.4.6 Vehicular Cloud Computing (VCC)

L'ensemble des serveurs virtuels basés sur la plateforme de cloud computing, accessibles via Internet, permet le partage de données et d'applications au profit des véhicules autonomes. Le Cloud Computing pour les Véhicules Connectés (VCC) propose une variété de services tels que :

- **Network as a Service (NaaS)** : Les objets connectés à Internet peuvent fournir ce service à d'autres objets du réseau.
- **Le Stockage en tant que Service (STaaS)** : Convient particulièrement aux objets nécessitant une grande capacité de stockage. Il est considéré comme une plateforme de stockage permettant à d'autres objets du réseau d'exécuter leurs applications à distance.
- **La Coopération en tant que Service (CaaS)** : Permet aux entités de souscrire à

d'autres entités en fonction de leur intérêt commun pour un même service.

- **Le Divertissement en tant que Service (EaaS)** : vise à fournir des informations sur la conduite sécuritaire dans les situations d'urgence, ainsi que des avertissements après une collision.
- **L'information en tant que Service (IaaS)** : axé spécifiquement sur les services commerciaux tels que la publicité, les images, les films, etc.

## 1.5 Architecture de communication des réseaux IoV

L'architecture du réseau VANET se compose d'entités statiques qui forment l'infrastructure (RSU, CA), ainsi que d'entités mobiles telles que les véhicules, responsables du transfert et de l'échange d'informations dans le but d'une gestion efficace des itinéraires et de la sécurité, en établissant des connexions appropriées [3]. La Figure 1.1 illustre différentes méthodes de communication utilisées par les véhicules.

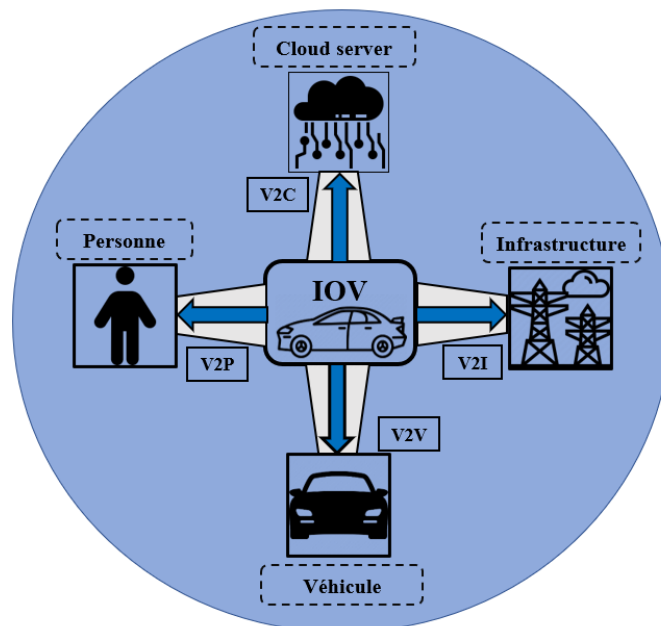


FIGURE 1.1 – Architecture de communication des réseaux IoV.

### 1.5.1 Communication véhicule à véhicule (V2V)

La communication entre véhicules (V2V) et l'échange d'informations via un réseau sans fil jouent un rôle essentiel dans la régulation du trafic et la réduction des accidents. Ces mécanismes permettent aux véhicules en circulation de partager des données im-

portantes telles que leur position, leur vitesse et les signaux routiers, afin de prévenir les accidents potentiels. Grâce à l'Internet des objets (IoT), les véhicules peuvent être équipés de systèmes avancés tels que le changement de voie automatique, le freinage d'urgence et les caméras avant et arrière. Cependant, pour que ces fonctionnalités soient efficaces, il est essentiel que chaque véhicule soit à portée de communication des autres (dans la zone de couverture radio) [3].

### **1.5.2 Communication véhicules à infrastructure (V2I)**

Un modèle de communication a été développé pour permettre aux véhicules de partager des informations et des données avec les composants des infrastructures routières, tels que les caméras de surveillance et les feux de circulation. Cette forme de communication sans fil, connue sous le nom de communication véhicule-infrastructure (V2I), est bidirectionnelle et s'effectue à travers un réseau dédié. Grâce à cette connexion, le système intelligent est en mesure d'analyser les informations essentielles sur l'état des routes, les flux de circulation, les accidents et les travaux de construction ou de réparation. Il peut ensuite prendre les mesures nécessaires, comme ajuster les limites de vitesse et gérer les feux de circulation, afin de garantir la sécurité routière.

### **1.5.3 Communication infrastructure à infrastructure (I2I)**

L'infrastructure de communication entre infrastructures (I2I) concerne les télécommunications entre deux dispositifs, tels que les boîtiers de contrôle (BC) et les unités routières (RSU). Ces connexions permettent la distribution de données, permettant ainsi aux RSU et aux BC adjacents de partager des informations sur les protocoles de sécurité, qui sont ensuite transmises aux véhicules.

### **1.5.4 Communication véhicule à Cloud (V2C)**

Le cloud computing permet d'accéder à des ressources puissantes afin d'améliorer les capacités de calcul et de stocker des données sur des serveurs distants.

### **1.5.5 Communication véhicule à Personne (V2P)**

En rassemblant des informations sur l'environnement, il renforce la sécurité des piétons en facilitant la communication entre le véhicule et des appareils intelligents tels que des ordinateurs portables, des smartphones, des montres connectées et d'autres dispositifs similaires.

### **1.5.6 Communication véhicule au réseau (V2N)**

Il facilite la communication entre les véhicules, qu'il s'agisse de voitures, de camions, de bus ou de feux de circulation, favorisant ainsi un échange d'informations fluide. Cela contribue à améliorer la sécurité routière en fournissant des mises à jour routières en temps réel et en renforçant la connectivité entre les véhicules, offrant ainsi des conseils précieux aux conducteurs.

### **1.5.7 Communication hybride**

Le modèle hybride repose sur les communications (V2I, V2V) dans lesquelles les véhicules échangent des informations sur le trafic et interagissent avec les infrastructures routières pour accéder à des données spécifiques. C'est cette combinaison de communications qui définit le modèle hybride.

## **1.6 Technologies d'accès pour les réseaux IoV**

La structure du réseau IoV (IoV) est composée de diverses technologies, illustrées dans le schéma explicatif présenté ci-dessous.

### **1.6.1 Technologie LAN sans fil (WLAN)**

Les réseaux locaux sans fil (WLAN) sont largement utilisés en raison de leur coût abordable, de leurs débits élevés et de leur facilité de déploiement. Ils sont couramment utilisés pour établir des réseaux personnalisés, offrant une solution polyvalente de communication adaptée à différentes configurations et environnements. Les WLAN permettent la transmission de données à haut débit.

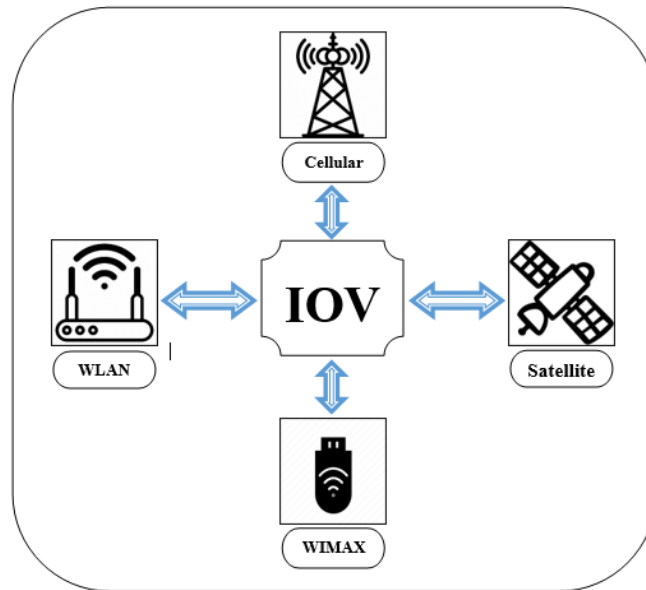


FIGURE 1.2 – Technologies d'accès des réseaux IoVs.

### 1.6.2 Technologie WiMAX :

La technologie WiMAX offre une interopérabilité universelle qui permet un accès à large bande via des ondes de petite taille, permettant une couverture étendue pouvant atteindre 50 km. Elle offre un accès à Internet avec des vitesses allant jusqu'à 70 Mbps. Utilisant la norme IEEE 802.16, le WiMAX prend en charge principalement les technologies sans fil à haut débit fixe et propose différentes catégories de qualité de service pour répondre aux besoins variés [4].

### 1.6.3 Technologie sans fil cellulaire

La technologie cellulaire sans fil utilise des ondes radio pour transmettre des données sur de longues distances. Un réseau cellulaire sans fil intelligent comprend les technologies 3G (UMTS) et 4G (LTE). Comparée aux technologies WLAN et WiMAX, la technologie 4G offre une excellente mobilité grâce à des transferts et une commutation fluides. De plus, elle permet des vitesses de transfert élevées pouvant atteindre jusqu'à 129 Mbps [5].

### 1.6.4 Technologie satellite

La technologie satellitaire exploite le système de satellites existant dans le domaine des communications pour fournir une gamme de services de téléphonie mobile tels

que les appels vocaux et vidéo, l'accès à Internet, les fax, ainsi que les services de télévision et de radio. Elle offre une couverture mondiale et des capacités de communication longue distance. De plus, la technologie satellitaire peut fonctionner dans des conditions ou des environnements où d'autres formes de communication ne sont pas viables, y compris les régions désertiques [6].

## **1.7 Applications des réseaux IoV**

Avec l'émergence de l'Internet des Véhicules (IoV), de nombreuses nouvelles applications spécifiques ont été développées pour contribuer directement à la réduction des risques pour les véhicules. Elles permettent notamment la réception d'alertes de protection contre les dangers potentiels entre les véhicules. Ces applications peuvent être regroupées en deux catégories distinctes : les applications axées sur la sécurité et celles axées sur le confort.

### **1.7.1 Application basée sur la sécurité**

Les applications axées sur la protection visent à gérer les accidents, les risques et les obstacles potentiels sur la route (tels que les conditions météorologiques, les obstacles, la détection des véhicules dangereux, la gestion du trafic, etc.) en utilisant des capteurs. Ces capteurs alertent le conducteur, collectent des informations prédictives et les transmettent sous forme de données afin d'adapter le véhicule à la situation grâce à l'Internet des Véhicules (IoV).

### **1.7.2 Application basée sur le confort**

Toutes les applications conçues pour améliorer le confort du conducteur pendant la conduite sont regroupées sous la catégorie des applications de divertissement. Elles contribuent à améliorer les conditions de voyage en proposant divers services tels que la localisation des stations-service, des restaurants et des attractions touristiques, ainsi que des services de paiement automatique. De plus, ces applications offrent également des jeux et d'autres services accessibles via Internet [7].



## 1.8 Caractéristiques et défis des réseaux IoV

Le modèle IoV repose sur l'intégration, qui assure la communication entre le véhicule et l'utilisateur afin de permettre un contrôle optimal. Dans cette optique, nous examinerons les caractéristiques et les défis des réseaux de véhicules intelligents (VANETS) [8].

### 1.8.1 Environnement de communication et Modèle de mobilité

Les réseaux VANET présentent une grande diversité d'environnements à grande échelle, ce qui entraîne divers obstacles pouvant réduire la qualité de la transmission sans fil. Le modèle de mobilité des réseaux VANET est étroitement lié à cette diversité d'environnements et d'infrastructures routières, ce qui se traduit par des mouvements de véhicules principalement structurés le long des routes et des rues.

### 1.8.2 Topologies des réseaux et des collectivités

Les réseaux VANET se distinguent par leur capacité à se connecter directement avec la vitesse et le mouvement aléatoire des véhicules, malgré les obstacles, ce qui leur permet de réduire la durée du champ de communication. Ils sont constitués de Dans cette étude, nous nous concentrons sur la technologie de clustering, largement utilisée dans les réseaux de véhicules pour améliorer les performances du système IoT et répondre à ses exigences. Chaque Cluster de véhicules est composé d'un chef de cluster et de membres du cluster. Les véhicules sont comparés les uns aux autres en fonction de métriques telles que la mobilité, les échelles pondérées, la localisation et les informations sur les voisins, afin de rejoindre le même cluster. Le processus de clustering comprend plusieurs étapes, telles que la découverte de quartier, la sélection du chef de cluster, la publicité, l'affiliation et l'entretien. Dans cette étude, nous nous concentrons sur la technologie de clustering, largement utilisée dans les réseaux de véhicules pour améliorer les performances du système IoT et répondre à ses exigences. Chaque Cluster de véhicules est composé d'un chef de cluster et de membres du cluster. Les véhicules sont comparés les uns aux autres en fonction de métriques telles que la mobilité, les échelles pondérées, la localisation et les informations sur les voisins, afin de rejoindre le même cluster. Le processus de clustering comprend plusieurs étapes, telles que la découverte

de quartier, la sélection du chef de cluster, la publicité, l'affiliation et l'entretien. Ils sont constitués de cluster qui organisent et forment les véhicules du réseau, ce qui entraîne des changements dynamiques fréquents dans leur structure.

### 1.8.3 Taille des réseaux

En raison de l'augmentation de la densité et du volume des réseaux de véhicules largement déployés, de nombreux défis spécifiques se posent. Parmi ces défis, on peut notamment citer :

- **Sécurité** : Il est essentiel de disposer de mécanismes de sécurité, d'authentification et de confidentialité robustes pour assurer la sûreté du réseau VANET et des données qui y circulent. L'intrusion d'un véhicule malveillant dans le réseau de véhicules peut avoir des conséquences désastreuses pour tous les véhicules interconnectés. Par conséquent, des mesures de sécurité appropriées sont indispensables pour prévenir de telles situations.
- **Routage** : Les réseaux de véhicules reposent sur des protocoles qui facilitent l'échange d'informations entre les véhicules, améliorant ainsi la communication intermittente qui définit l'efficacité de ces protocoles.

## 1.9 Outils de simulation et modèles de mobilité pour les réseaux IoV

La simulation de réseau est une technique moderne utilisée pour étudier le mouvement des véhicules et évaluer leurs performances au sein du réseau. Avec la variété de modèles de mobilité disponibles pour les réseaux IoV, il devient essentiel de disposer de programmes de simulation dédiés pour les réseaux VANET afin de capturer avec précision les déplacements des véhicules et favoriser leur développement. Ces simulations permettent d'améliorer l'intelligence des véhicules et de leurs programmes, notamment en s'adaptant aux routes accidentées, en ralentissant ou en s'arrêtant lorsque nécessaire [9].

## 1.10 Conclusion

L'Internet des Véhicules (IoV) est un domaine de recherche en plein essor qui suscite un intérêt croissant au sein de la communauté scientifique. Récemment, de nombreuses extensions et nouvelles connexions ont été proposées, jetant ainsi les bases générales de l'IoV. Ce domaine englobe une définition globale et une introduction aux réseaux véhiculaires ad hoc (VANET) ainsi qu'aux composants clés d'un réseau véhiculaire. Une architecture de communication pour les réseaux IoV a également été présentée, accompagnée d'une illustration explicative, ainsi que les technologies d'accès utilisées dans ces réseaux et leurs différentes caractéristiques. Enfin, ce chapitre se termine par une discussion sur les outils de simulation et les modèles de mobilité utilisés pour étudier les réseaux IoV. Le prochain chapitre de ce mémoire abordera l'état de l'art de notre travail et la classification des nouvelles techniques de clustering appliquées à l'IoV.

# Chapitre 2

## État de l'art sur les algorithmes de clustering pour IoV

### 2.1 Introduction

Les réseaux IoV (Internet of Véhicules) sont une sous-classe particulière de réseaux IoT (Internet of Things) conçus pour améliorer les réseaux VANETs classiques en renforçant la sécurité routière grâce à la fourniture d'informations sur le trafic, les accidents, les dangers, les déviations possibles ou les conditions météorologiques. En raison de la fluidité du trafic routier, ces réseaux ont suscité un intérêt considérable tant dans le milieu universitaire que dans l'industrie, en raison de leur potentiel à améliorer la sécurité routière et la commodité pour les conducteurs et les passagers.

La conception d'applications efficaces pour les réseaux IoV représente un défi majeur qui ne doit pas être négligé, compte tenu des caractéristiques uniques de ces réseaux, telles que la mobilité élevée des véhicules et les changements de topologie rapides. La conception et la mise en œuvre de solutions efficaces pour de tels réseaux sont donc une tâche difficile. Dans ce contexte, la formation de clusters (Clustering) est une technique importante utilisée dans les réseaux IoV, offrant une solution intéressante pour simplifier et optimiser les fonctions et les services du réseau. Elle a considérablement amélioré les performances dans de nombreuses applications par rapport à la structure plate conventionnelle.

Cette étude propose une revue critique des algorithmes de cluster dans les réseaux IoV. Elle comprend une vue d'ensemble générale des techniques de Clustering, une nouvelle taxonomie permettant de classer les algorithmes de Clustering proposés récemment pour les réseaux IoV, une description détaillée de chaque solution existante, une comparaison pour chaque classe de la taxonomie proposée en prenant en compte des paramètres clés pertinents, ainsi qu'une discussion des principaux défis et des problèmes de recherche ouverts.

## **2.2 Méthodologie de l'enquête**

Nous avons effectué une étude approfondie de plusieurs algorithmes de Clustering pour les réseaux IoV. Pour identifier les algorithmes les plus pertinents, nous avons combiné les revues de littérature existantes sur le Clustering dans les VANETs avec notre propre recherche de techniques de Clustering spécifiquement conçues pour les réseaux IoV. Nous avons également pris en compte les nouveaux algorithmes de Clustering récemment proposés qui n'ont pas été inclus dans les études précédentes. Par la suite, nous avons analysé les résumés des articles correspondants afin de comprendre la structure de chaque algorithme. Notre méthode de recherche a été axée sur les termes "VANET" ou "IoV" et "clustering".

## **2.3 Clustering dans les Réseaux IoV : Un Aperçu**

Au cours des dernières années, le clustering est devenu l'un des mécanismes de contrôle les plus largement utilisés dans les réseaux IoV pour relever leurs défis et améliorer leurs performances.

Le clustering implique de regrouper les véhicules en petits groupes, appelés clusters, en se basant sur des métriques prédéfinies telles que la densité des nœuds, la vitesse moyenne et l'emplacement des nœuds. L'objectif est de créer un réseau gérable en fonction des exigences de l'application cible. Les nœuds au sein d'un cluster peuvent être classés en différentes catégories, notamment les nœuds de tête de cluster, les nœuds de données et les nœuds de passerelle. Les nœuds de tête de cluster jouent un rôle essentiel dans la gestion du cluster, tandis que les nœuds de données sont res-

ponsables de la collecte et de la diffusion des informations. Les nœuds de passerelle servent d'interface entre les clusters et facilitent la communication inter-cluster [10].

## 2.4 Bref Historique

Au fil des années, de nombreuses techniques de clustering ont été développées pour les VANETs afin d'améliorer les performances du réseau en termes de qualité de service, de stabilité et de sécurité routière. Les premiers algorithmes de clustering étaient basés sur des méthodes hiérarchiques. Cependant, avec l'évolution de la technologie, de nouveaux algorithmes ont été proposés, tels que les algorithmes basés sur la densité et les algorithmes basés sur la distance.

De nos jours, le clustering est largement reconnu comme l'une des techniques les plus efficaces pour améliorer les performances des VANETs. La recherche continue de se concentrer sur le développement d'algorithmes de clustering plus efficaces pour les réseaux véhiculaires modernes (IoV), en prenant en compte les caractéristiques spécifiques des réseaux ad hoc véhiculaires et les défis associés tels que la haute mobilité des véhicules, les variations de densité et la fragmentation du réseau [11].

## 2.5 Concepts de base de clustering

### 2.5.1 Structure du cluster

Le clustering est un processus qui vise à regrouper les nœuds d'un réseau en petits groupes, appelés clusters, fournissant ainsi le réseau avec une structure hiérarchique. Cette structure répond à certaines exigences, telles que l'évolutivité, l'équilibrage de charge, la stabilité du réseau et la qualité de service (QoS). En règle générale, les nœuds géographiquement voisins ont une forte probabilité de Rejoindre le même cluster selon certaines règles et métriques [12]. Dans un cluster, on peut distinguer plusieurs types de nœuds en fonction de leur rôle dans la structure et leur niveau de responsabilité :

1. **Cluster Head (CH)** : Il s'agit du nœud qui coordonne et gère le cluster. Le CH est responsable de la communication avec les nœuds en dehors du cluster et de la prise de décision concernant le routage et la diffusion des données.

2. **Gateway Node (GN)** : Ce type de nœud agit comme un point d'entrée/sortie pour le cluster. Le GN permet aux nœuds du cluster de communiquer avec des nœuds entre les cluster, par exemple en transmettant des données à un autre cluster ou à un point d'accès à l'Internet.
3. **Cluster Member (CM)** : Ce sont les nœuds qui font partie du cluster, mais qui n'ont pas de rôle de coordination. Les CM communiquent avec le CH pour échanger des données et suivre les décisions prises par le CH.

### 2.5.2 Métriques d'élection des chefs de clusters (CHs)

Plusieurs métriques ont été utilisées pour sélectionner les CH.25 et les algorithmes de clusterisation sont classés en six Catégories :

1. **Métriques ignorées** : Cette catégorie regroupe des algorithmes qui définissent les CH (Cluster Heads) sans utiliser de métriques spécifiques. Ils font plutôt appel à des heuristiques et présentent des performances raisonnables.
2. **Métriques aléatoires** : Cette catégorie regroupe les premiers algorithmes de Clustering pour les réseaux ad hoc et les réseaux MANET. Ces algorithmes utilisent des métriques aléatoires et peu significatives.
3. **Métriques de positionnement** : Cette classe englobe tous les algorithmes qui se basent sur le système de positionnement global (GPS).
4. **Métriques de mobilité** : Cette catégorie regroupe tous les algorithmes qui se basent sur les informations de navigation des nœuds.
5. **Métriques combinées** : Cette catégorie regroupe les algorithmes pondérés qui combinent plusieurs mesures de différents types.
6. **Métriques de destination** : Cette catégorie englobe tous les algorithmes de clustering qui se basent sur les informations de navigation pour déterminer la destination.

### 2.5.3 Flux procédural du processus de clustering

Le processus de clustering dans les réseaux IoV se compose de deux principales parties : l'élection et la formation des clusters, ainsi que la maintenance des clusters. Ces

processus peuvent être divisés en cinq étapes clés : découverte du voisinage, élection des chefs de cluster, annonce, affiliation et maintenance.

### **2.5.3.1 Découverte de voisinage**

Si la voiture veut rejoindre le réseau, elle active le système de communication et met à jour son état, puis envoie des messages périodiques à son voisinage et reçoit simultanément des messages contenant les informations nécessaires à la réalisation du processus de clustering.

### **2.5.3.2 Élection des présidents de Clustering :**

Après avoir reçu les informations nécessaires de son voisinage, le véhicule vérifie ces informations afin de sélectionner un nouveau nœud qui deviendra le CH (Cluster Head). Si le nœud est qualifié pour devenir un CH, il mettra à jour son statut en tant que CH et passera à l'étape de déclaration. Si le CH sélectionné se trouve parmi la liste des voisins, le nœud passera ensuite à l'étape d'affiliation.

### **2.5.3.3 Annonce**

Chaque Cluster Head (CH) émet un paquet d'annonce pour initier le processus de formation du cluster, en recevant des demandes d'affiliation de nœuds non encore regroupés.

### **2.5.3.4 Affiliation**

Si le message d'annonce reçu du Cluster Head (CH) est identique au CH élu localement, le nœud envoie un message d'affiliation, met à jour son état en tant que Cluster Member (CM) et rejoint le cluster. Sinon, le nœud ignore le message d'annonce reçu et attend un autre message d'annonce.

### **2.5.3.5 Maintenance**

Cette étape dépend si le nœud est devenu **CH** ou **CM**.

1. **En tant que CH :** Chaque Cluster Head (CH) surveille régulièrement ses Cluster Members (CM) en échangeant des messages pour enregistrer leur présence



au sein du cluster. Si un nœud CM se déplace en dehors de la portée du cluster, le CH détecte ce changement et supprime immédiatement ce nœud de sa liste de membres.

2. **En tant que CM :** Le nœud Cluster Member (CM) effectue régulièrement des vérifications de la connectivité avec son Cluster Head (CH) en utilisant des messages périodiques. Si le lien est perdu, le nœud CM change son état en "unclustered" et tente de rejoindre un autre cluster.

## **2.6 Classification des Algorithmes de clustering les réseaux VANETs**

En effet, la classification de clustering VANET permet de mieux comprendre les différentes approches utilisées pour la formation de clusters dans les réseaux ad hoc véhiculaires. Elle facilite également la comparaison entre les différents algorithmes de clustering et permet de mettre en évidence les avantages et les inconvénients de chaque approche. De plus, elle fournit une base solide pour la conception de nouveaux algorithmes de clustering qui répondent aux besoins spécifiques des VANETs. En somme, la taxonomie de clustering VANET est un outil utile pour la recherche et le développement dans le domaine des réseaux ad hoc véhiculaires. La Figure 2.1 illustre la classification proposé pour les algorithmes de clusterisation pour les VANETs.

### **2.6.1 Algorithmes de clustering des réseaux MANET**

#### **2.6.1.1 SFTD**

Il semble que vous faites référence à la méthode de diffusion SFTD (Spatial Forwarding with Temporal Diversity), qui est une approche de diffusion de données utilisée dans les réseaux VANET. Cette méthode exploite Clustering de données et la formation de clusters pour améliorer l'efficacité de la diffusion des données. Le processus de sélection des CH (Cluster Head) repose sur des métriques telles que LCR (Link Cost Ratio) et SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio), qui évaluent la qualité de la liaison. Clustering de données permet de réduire le nombre de paquets émis, ce qui peut diminuer la congestion du réseau et améliorer l'efficacité énergétique. Le schéma

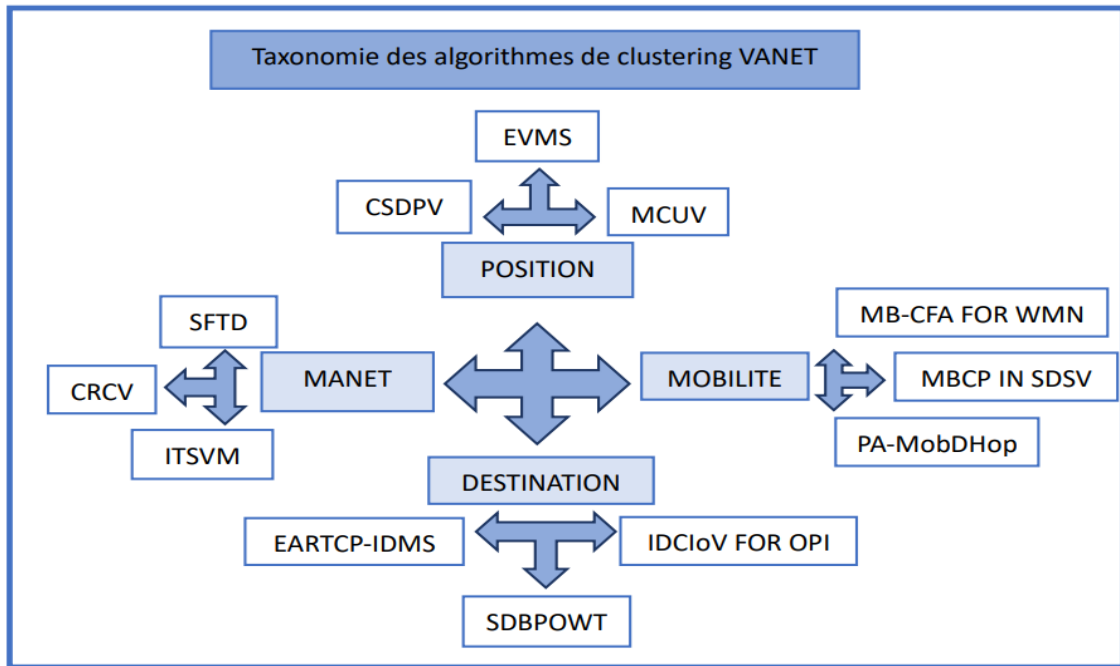


FIGURE 2.1 – Taxonomie des Algorithmes de clustering dans les réseaux VANET.

SFTD a démontré des performances élevées en termes de taux de livraison de paquets et de réduction de la latence, ce qui en fait une approche prometteuse pour les réseaux VANET [12].

### 2.6.1.2 CRCV

Les paquets de données non sécurisés peuvent être transmis à des nœuds voisins sans nécessiter une vérification d'identité. Cependant, pour les paquets de données sécurisés, une authentification est nécessaire afin de garantir la légitimité des nœuds source et destination. Cette authentification peut être réalisée en utilisant des techniques de cryptographie telles que la signature numérique ou le chiffrement. En mettant en place un mécanisme d'authentification efficace, le risque d'attaques malveillantes peut être réduit, ce qui permet d'améliorer la sécurité des communications dans les réseaux VANET [13].

### 2.6.1.3 ITSVM

Les réseaux de véhicules dédiés (VANET) sont bien adaptés aux systèmes de transport intelligents (ITS), car ils permettent la transmission en temps réel d'informations sur le trafic, les conditions météorologiques, les accidents et d'autres événements im-

portants aux conducteurs et aux véhicules. Cela permet aux conducteurs de prendre des décisions éclairées et de conduire de manière plus sûre, contribuant ainsi à la réduction des accidents routiers et à l'amélioration de la sécurité.

Cependant, en raison de la mobilité des véhicules, les communications entre les véhicules et entre les véhicules et les infrastructures sont souvent de courte durée, ce qui présente des défis pour la conception de protocoles de communication efficaces et fiables. De plus, la sécurité constitue une préoccupation majeure dans les VANET, car les communications sans fil peuvent être interceptées ou falsifiées par des attaquants malveillants [14].

## **2.6.2 Algorithmes de clustering basée sur la position**

### **2.6.2.1 EVMS**

La conception d'une architecture de réseau VANET sans routeurs entraîne plusieurs problèmes complexes, notamment la gestion des ressources limitées, l'évolutivité, la fiabilité et la présence de terminaux cachés dans le réseau. Pour résoudre ces problèmes, le protocole AWCP (Weighted Cluster Protocol) utilise une sélection aléatoire des nœuds pour optimiser les paramètres du réseau et trouver le meilleur canal disponible.

De plus, dans un réseau VANET, une liste des véhicules qui n'ont pas répondu pendant une certaine période peut être fournie, ce qui permet aux administrateurs système de prendre des mesures pour améliorer la fiabilité du réseau. Il est également important de régulièrement mettre à jour les clés générées pour tous les véhicules du système afin de garantir la sécurité du réseau [15].

### **2.6.2.2 CSDPV**

Il est essentiel d'établir un mécanisme efficace pour former des clusters dans les réseaux de véhicules dédiés (VANET) afin d'assurer une communication fiable entre les véhicules. L'utilisation d'un graphe contextuel de chemin adapté à la destination peut être bénéfique pour calculer différents schémas de formation de clusters et optimiser le routage des données. Les chefs de cluster sont sélectionnés en fonction de leur proxi-

mité avec la destination et de leur capacité à agir en tant que relais efficaces pour les données.

Dans les environnements urbains, il est important de séparer la communication en communication intra-groupe et intergroupe afin d'améliorer les performances du système. Cela permet d'accroître la livraison des paquets publics et de réduire les délais de livraison en optimisant le routage des données et en minimisant les collisions entre les paquets. Les moteurs sont également conçus pour maximiser le contact entre les véhicules afin de former le périmètre du VANET pour une conduite efficace, ce qui facilite la sélection des chefs de cluster et l'organisation efficace des clusters. Les administrateurs système doivent également veiller à mettre régulièrement à jour les clés générées pour tous les véhicules du système afin de garantir un niveau élevé de sécurité pour les communications entre les véhicules [16].

### **2.6.2.3 MCVU**

Le clustering multi-niveau joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité des réseaux de véhicules dédiés (VANET). Cependant, il est vrai que les nœuds situés plus loin de l'en-tête peuvent rencontrer des problèmes de connectivité. Cela peut être dû à une perte de signal ou à une distance trop grande. Pour résoudre ce problème, il est possible d'adopter des techniques telles que la répétition du signal ou la création de relais à différents niveaux Clustering afin de transmettre les données plus loin dans le réseau. De plus, il est essentiel de concevoir des mécanismes de gestion de la qualité de service (QoS) pour garantir une connectivité et une transmission de données optimales, même pour les nœuds les plus éloignés [17].

## **2.6.3 Algorithmes de clustering basés sur la mobilité**

### **2.6.3.1 CMBC**

Le protocole CMBC présente une amélioration intéressante dans le domaine du Clustering des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil. Grâce à une approche centralisée basée sur la mobilité, il parvient à créer des structures topologiques stables tout en prenant en compte les temps de connexion des nœuds. De plus, sa capacité à remplacer rapidement le nœud tête de cluster en cas d'urgence renforce la résilience du réseau.

Les performances supérieures du protocole CMBC dans des scénarios impliquant des nœuds mobiles à grande vitesse, notamment en termes de taux de transmission réussie, de consommation moyenne d'énergie et de surcharge de contrôle moyennement, sont également des avantages significatifs. Il serait intéressant d'explorer les possibilités d'implémentation de ce protocole dans des situations réelles et de déterminer s'il peut être adapté pour fonctionner dans d'autres environnements de réseau sans fil [18].

### 2.6.3.2 MCFA

Une solution est proposée pour résoudre les problèmes de Clustering dans les réseaux ad hoc mobiles sans fil (MANET) dans des conditions réalistes où les paramètres de mobilité du réseau sont imprévisibles et variables. L'algorithme MCFA, qui repose sur des automates d'apprentissage, est présenté comme une solution entièrement distribuée. Il permet à chaque appareil mobile de choisir indépendamment son chef de cluster en utilisant des informations locales fournies par ses voisins. Les résultats expérimentaux démontrent que MCFA surpasse les algorithmes existants en termes de nombre de clusters, durée de vie des clusters, taux de réintégration et surcharge de messages de contrôle. Cette approche offre une meilleure performance dans des environnements où la mobilité du réseau est imprévisible et variable [19].

### 2.6.3.3 MobDHop

MobDHop est un algorithme novateur qui forme des clusters avec un diamètre variable en se basant sur les mouvements des nœuds. Contrairement aux autres algorithmes de Clustering, il n'impose pas de limite prédéfinie au diamètre des clusters, mais se concentre plutôt sur la stabilité des clusters. MobDHop regroupe les nœuds ayant des mouvements similaires pour obtenir une stabilité maximale. De plus, cet algorithme est distribué, adaptatif et localisé, ne nécessitant que la connaissance du voisinage 1-saut.

Les résultats des simulations NS-2 démontrent que les clusters formés par MobDHop sont plus stables que ceux formés par d'autres algorithmes dans divers modèles de mobilité. De plus, une analyse théorique est présentée pour évaluer les performances de MobDHop, révélant que le surcoût engendré par le Clustering multihop présente

une borne asymptotique similaire à celle du Clustering 1-sout, tout en bénéficiant des avantages offerts par les clusters multihop [20].

## **2.6.4 Algorithmes de clustering basés sur la destination**

### **2.6.4.1 SDBPOWT**

La détection des places de stationnement dans les réseaux ad hoc de véhicules revêt une importance cruciale. En effet, la recherche de places de stationnement contribue grandement à la congestion du trafic urbain et engendre une perte de temps considérable pour les conducteurs. Pour remédier à ce problème, l'article propose un algorithme intelligent de détection de places de stationnement, s'inspirant des approches utilisées pour l'allocation de mémoire dans les systèmes d'exploitation. Cette méthode personnalisée prend en compte la distance entre la place de stationnement et la destination désirée du conducteur, un facteur essentiel pour garantir une allocation rapide et efficace des places de stationnement. Les résultats expérimentaux démontrent que cette approche, basée sur la destination, permet une allocation des places de stationnement plus rapide et efficace par rapport aux méthodes existantes [21].

### **2.6.4.2 IDCIOV**

L'utilisation de la technologie de l'Internet des Objets (IoT) dans le contexte des véhicules est devenue courante. Nous présentons une approche basée sur la navigation pour résoudre efficacement le problème d'identification des voisins et d'optimisation de la transmission des données. Notre approche se divise en deux phases distinctes : l'identification de la position à l'aide du système indien de navigation par satellite régional et l'identification du chemin optimal en utilisant la transformation de l'arbre acyclique. Notre objectif est d'assurer une transmission fiable des données à travers plusieurs communautés sans interruption de la connectivité. Nous avons évalué l'efficacité de notre approche en simulant son fonctionnement avec VANET MOBISIM. [22].

### 2.6.4.3 EARTCP-IDMS

Les applications multimédia sociales récentes sont confrontées au défi de synchroniser différents types de médias. Dans cette optique, une méthode améliorée d'IDMS basée sur RTCP a été proposée, qui utilise un schéma de lecture adaptatif des médias (AMP). Cette méthode permet d'ajuster de manière dynamique le temps de lecture des utilisateurs répartis géographiquement au sein d'un cluster, afin de maintenir une synchronisation dans les limites acceptables et de minimiser les interruptions de lecture à long terme. Les chercheurs ont testé cette méthode en utilisant NS-2 et ont réalisé des simulations qui ont démontré la faisabilité et l'efficacité de cette approche pour améliorer l'expérience utilisateur. Dans l'ensemble, cet article constitue une contribution significative dans le domaine de la synchronisation multimédia dans les applications multimédia sociales [23].

## 2.7 Limitations des algorithmes de clustering existants

Les algorithmes de clustering dans les réseaux VANET et IoV existants présentent certaines limitations par rapport à une nouvelle approche de clustering combinée. Voici quelques-unes de ces limitations :

1. **Complexité du calcul** : Les algorithmes de clusters existants peuvent être complexes et nécessitent souvent des calculs intensifs, ce qui peut entraîner une utilisation élevée des ressources et une latence accrue dans le réseau.
2. **Sensibilité à la mobilité des véhicules** : Les algorithmes de clusters existants peuvent avoir du mal à gérer la mobilité élevée des véhicules dans les réseaux VANET. Les changements fréquents de voisinage et la perte de connectivité peuvent rendre difficile la formation et le maintien de clusters stables.
3. **Évolutivité limitée** : Certains algorithmes de clusters existants peuvent avoir des difficultés à s'adapter à des réseaux VANET de grande taille. Ils peuvent ne pas être en mesure de gérer efficacement la croissance du réseau et de maintenir des performances optimales avec un nombre croissant de nœuds.
4. **Faible tolérance aux pannes** : Les algorithmes de clustering existants peuvent être sensibles aux pannes de nœuds ou de liens. En cas de défaillance d'un nœud

clé ou d'une liaison importante, cela peut entraîner la dissolution du cluster et des interruptions de communication.

En comparaison, une nouvelle approche de clusters combinée cherche à surmonter ces limitations en intégrant des mécanismes avancés. Elle peut prendre en compte la mobilité des véhicules de manière plus efficace, proposer des techniques de calcul plus légères, améliorer l'évolutivité du réseau et renforcer la tolérance aux pannes. En combinant différents aspects et en introduisant des stratégies novatrices, cette approche vise à offrir de meilleures performances de clusters dans les réseaux IoV.

## **2.8 Conclusion :**

Ce chapitre présente une étude sur les algorithmes de clustering dans les réseaux VANET et IoV. Nous commençons par offrir un aperçu du clustering dans les VANETs, en fournissant des informations sur les différentes étapes du processus de clustering. Nous abordons également brièvement l'historique, les concepts du clustering, la structure du cluster, les critères de sélection des présidents de groupe et le clustering du flux procédural. Cette étude nous permet de tirer parti des algorithmes existants afin de proposer un nouvel algorithme de clustering combiné adapté à l'environnement IoV. L'objectif de cet algorithme est d'améliorer les performances des réseaux VANET et IoV. La conception et la description détaillée de cet algorithme seront abordées dans la prochaine partie de notre mémoire.



# Chapitre 3

## Contribution

### 3.1 Introduction

Les divers éléments essentiels, tels que l'unité embarquée dans chaque véhicule, l'unité en bord de route, le centre de contrôle et Internet, permettent aux véhicules de communiquer avec différents réseaux et de s'adapter à eux en utilisant les services qu'ils fournissent. Cependant, en raison du grand nombre de véhicules connectés et de la quantité considérable de données à traiter et à stocker, la conception d'applications efficaces représente un défi dans le domaine de l'Internet des Véhicules (IoV). Afin de rendre les réseaux dynamiques plus gérables et stables, tout en maintenant des performances acceptables, des techniques telles que le clustering sont employées. La plupart des protocoles de clustering proposés reposent sur des méthodes de clustering entièrement distribuées. Néanmoins, l'utilisation d'un algorithme centralisé peut améliorer le contrôle et les performances du réseau. Dans ce chapitre, nous présenterons en détail les fondements de l'approche suggérée, le protocole proposé, la phase de maintenance et une analyse théorique.

### 3.2 Approche proposée

Dans cette section, nous introduirons notre approche de clustering basée sur des poids pour les réseaux véhiculaires modernes. Notre algorithme utilise un indice de mobilité qui combine certains paramètres de mobilité. Le schéma proposé se concentre

exclusivement sur la communication de véhicule à véhicule (V2V) et vise principalement à maintenir les clusters et à accroître leur stabilité face aux divers changements qui impactent la topologie du réseau en raison de la grande mobilité des véhicules.

Pour élire les chefs de cluster (CH), notre schéma utilise à la fois des mesures pondérées classiques, telles que le degré des nœuds et la distance moyenne, ainsi qu'un nouvel indice introduit par notre approche, appelé indice de mobilité. Cet indice combine d'autres paramètres de mobilité tels que la vitesse et l'accélération. Notre approche prend également en compte la possibilité que le CH puisse quitter le cluster en élisant un Chef de Cluster de Sauvegarde (Backup CH), également basé sur le poids des nœuds.

Ensuite, nous présenterons le modèle de réseau pour notre schéma proposé et décrirons les principales étapes de l'approche suggérée, notamment les phases d'initialisation et de maintenance des clusters.

### **3.2.1 Hypothèses :**

- L'approche proposée repose sur les hypothèses suivantes :
  - Chaque Véhicule a un identifiant unique.
  - Chaque véhicule équipé d'un On Board Unit (OBU).
    - L'OBU est un appareil électronique intégré dans un véhicule, conçu pour recueillir, analyser et transmettre en temps réel diverses données, telles que la localisation GPS du véhicule, les conditions de circulation, les alertes de sécurité et d'autres informations pertinentes.
  - Chaque véhicule est capable de calculer sa vitesse, de connaître sa position actuelle (via un identifiant unique) et la portée de transmission en utilisant un appareil GPS.
  - La portée de chaque véhicule dans le réseau est de 250 mètres.
  - L'approche est développée spécifiquement pour un environnement autoroutier.

### 3.2.2 Modèle de réseau

Notre réseau de véhicules est théoriquement modélisé sous la forme d'un graphe non orienté  $G(V,E)$  où  $V$  représente l'ensemble des nœuds (véhicules) et  $E$  représente l'ensemble des arêtes qui représentent les liens de communication entre les véhicules. Il existe un lien  $(i,j) \in E$  si et seulement si les véhicules  $i$  et  $j$  sont mutuellement dans la zone de couverture de l'autre.

$$\exists(i,j) \in E \Rightarrow distance(i,j) \leq \min(Tr_i, Tr_j). \quad (3.1)$$

où  $Tr_i, Tr_j$  est la portée de transmission des véhicules  $i$ , respectivement  $j$ .

### 3.2.3 Architecture du Réseau IoV :

La Figure ci-dessous illustre l'architecture globale de notre approche.

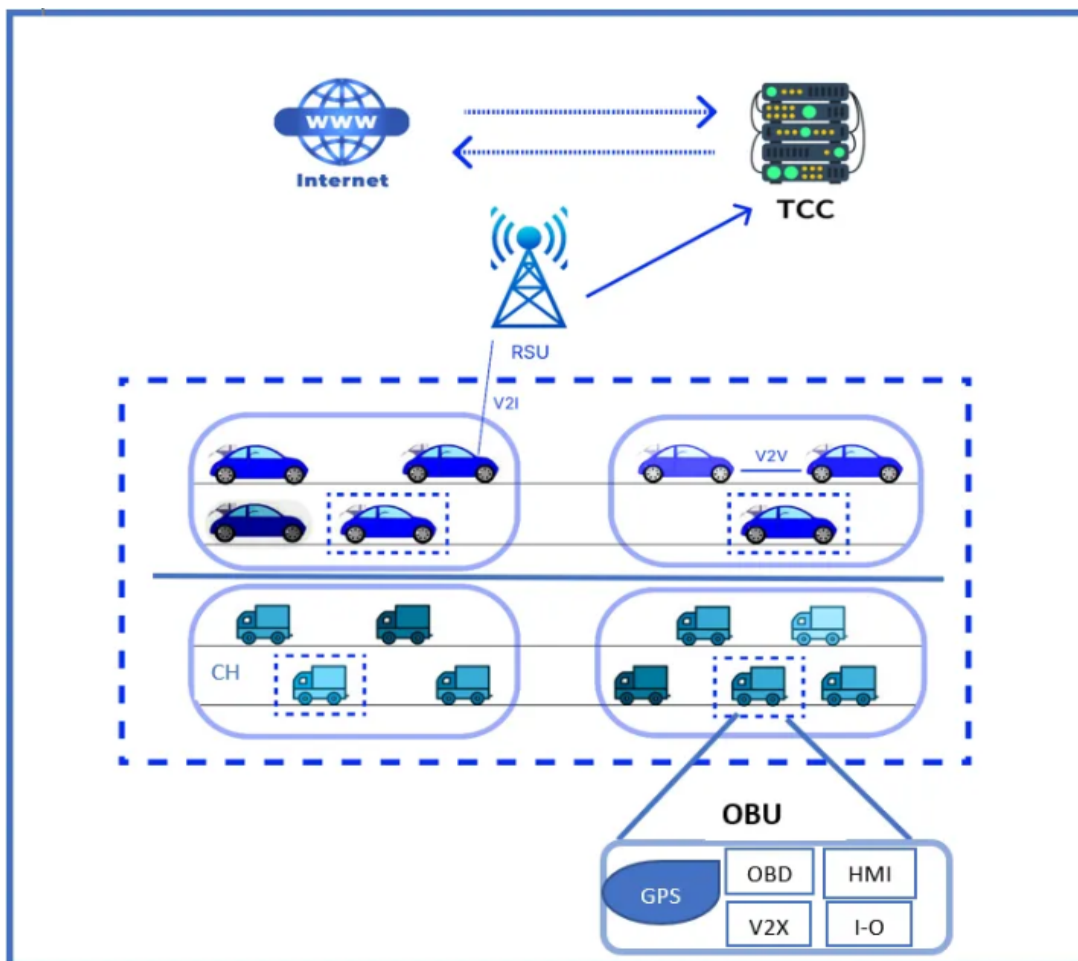


FIGURE 3.1 – Structure de réseau pour notre approche.

## 3.2.4 Phase d'initialisation

### 3.2.4.1 Calcul du poids

L'approche proposée effectue le clustering en se basant sur un poids combiné des métriques suivants :

1. **Indice de voisinage (IV)** : L'indice de voisinage  $IV_i$  pour le noeud  $i$  est défini comme suit :

$$IV_i = \frac{1}{D_i} \quad (3.2)$$

$$D_i = |N_i| \quad (3.3)$$

où  $N_i$  représente l'ensemble des voisines du noeud  $i$  et  $D_i$  représente-le degré du noeud  $i$ . Un noeud ayant un indice de voisinage minimal est plus susceptible d'être élu en tant que Chef de Cluster (CH), le rendant ainsi plus approprié.

2. **Distance Relative Moyenne (DRM)** : Ce paramètre représente la distance carrée cumulative moyenne de ses voisins à un 1-saut  $N_i$  divisée par son degré ( $D_i$ ) comme suit :

$$DRM_i = \frac{1}{D_i} \sum_{j=1}^{D_i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}. \quad (3.4)$$

Un noeud ayant une distance relative moyenne minimale est plus susceptible d'être élu en tant que Chef de Cluster (CH), le rendant ainsi plus approprié.

3. **Indice de Mobilité (IM)** : Dans notre approche proposée, nous introduisons un nouveau paramètre appelé Indice de Mobilité (IM), qui dépend de deux principales métriques : la vitesse relative et l'accélération relative. Un faible taux de IM indique que le noeud est adapté pour être sélectionné en tant que Chef de Cluster (CH).

Supposons que  $p_1(x_1, y_1)$  soit la position du noeud  $i$  à l'instant  $t_1$  et que  $p_2(x_2, y_2)$  soit la position du noeud  $i$  à l'instant  $t_2$ .  $d_i$  représente la distance parcourue par le noeud  $i$  pendant l'intervalle de temps  $(t = t_2 - t_1)$  :

$$d_i = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (3.5)$$

La vitesse du nœud  $i$  pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  est calculée de la manière suivante :

$$v_i = \frac{d_i}{\Delta t}. \quad (3.6)$$

Supposons que  $v_1$  soit la vitesse du nœud  $i$  à l'instant  $t_1$  et que  $v_2$  soit la vitesse du nœud  $i$  à l'instant  $t_2$ .  $a_i$  représente l'accélération du nœud  $i$  pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  ( $\Delta t = t_2 - t_1$ ). Par conséquent, l'accélération du nœud  $i$  est calculée de la manière suivante :

$$a_i = \frac{\Delta v_i}{\Delta t}. \quad (3.7)$$

En utilisant des messages périodiques pour échanger les mesures de vitesse et d'accélération entre les véhicules voisins, chaque nœud  $i$  calcule sa Vitesse Relative Moyenne ( $vRM_i$ ) et son Accélération Relative Moyenne ( $aRM_i$ ) par rapport à ses voisins directs comme suit :

$$vRM_{(i,N_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{D_i} vR_{(i,j)}}{D_i}. \quad (3.8)$$

où  $vR_{(i,j)} = |v_i - v_j|$ .

$$aRM_{(i,N_i)} = \frac{\sum_{j=1}^{D_i} aR_{(i,j)}}{D_i}. \quad (3.9)$$

où  $aR_{(i,j)} = |a_i - a_j|$ .

Finalement, l'Indice de Mobilité ( $IM_i$ ) du nœud  $i$  est calculé de la manière suivante :

$$IM_i = vRM_{(i,N_i)} \times aRM_{(i,N_i)} \quad (3.10)$$

4. **Poids du nœud (P)** : Le poids  $P_i$  du nœud  $i$  est calculé en fonction des paramètres précédents de la manière suivante :

$$P_i = (C_1 \times IV_i) + (C_2 \times DRM_i) + (C_3 \times IM_i) \quad (3.11)$$

où

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \quad (3.12)$$

### 3.2.5 Phase d'élection des Chefs de clusters et formation des clusters

1. Au départ, tous les véhicules se trouvent dans l'état "Undefined State" (US).
2. Chaque véhicule diffuse un message à ses voisins directs (à un saut), en incluant ses informations (identifiant, vitesse, accélération, et position).
3. Après avoir reçu le message de tous ses voisins, chaque véhicule  $i$  calcule différents paramètres tels que l'indice de voisinage, distance relative moyenne, indice de mobilité, afin de calculer son poids  $P_i$ . Ensuite, le véhicule diffuse un nouveau message à ses voisins, incluant son identifiant et son poids calculé  $P_i$ .
4. Lorsqu'un véhicule reçoit les messages (contenant les poids) de tous ses voisins directs, elle compare son poids ( $p_i$ ) avec tous les poids reçus. Si son poids a la valeur la plus faible, le véhicule doit annoncer son élection en tant que nouveau CH et met à jour son état en CH. Par conséquent, le nouveau CH élu diffuse un message ANNOUNCE à ses voisins directs, puis attend leurs réponses (affiliations). Dans le cas contraire, le véhicule élit le nœud ayant la valeur de poids la plus faible comme son nouveau CH, met à jour la variable local du CH (qui indique l'identifiant de son CH actuel) avec l'identifiant du nouveau CH correspondant, et attend un message ANNOUNCE de ce CH. Si plusieurs nœuds ont le poids le plus faible (poids égaux), le nœud ayant l'identifiant le plus bas sera élu comme CH.
5. Chaque véhicule, après avoir reçu un message ANNOUNCE d'un nouveau CH, compare l'identifiant de l'émetteur du message ANNOUNCE avec le CH choisi localement. S'ils sont identiques, le véhicule envoie un message réponse (REPLY) à ce CH et met à jour son état en CM (Cluster Member). Sinon, le véhicule ignore le message et attend un nouveau message ANNOUNCE d'un autre CH ayant le même identifiant du CH choisi localement.
6. Chaque CH, pour chaque réponse (REPLY) reçue, ajoute le nœud émetteur à sa liste de membres du cluster.
7. Après la formation du cluster, le CH doit sélectionner un nœud parmi les membres du cluster (à l'exception de lui-même) ayant la valeur de poids la plus faible

comme CH de secours (Secondary CH). Ensuite, le CH envoie un message d'affectation au nœud désigné.

8. Le processus d'élection des CHs et formation des clusters est illustré dans la Figure 3.2.

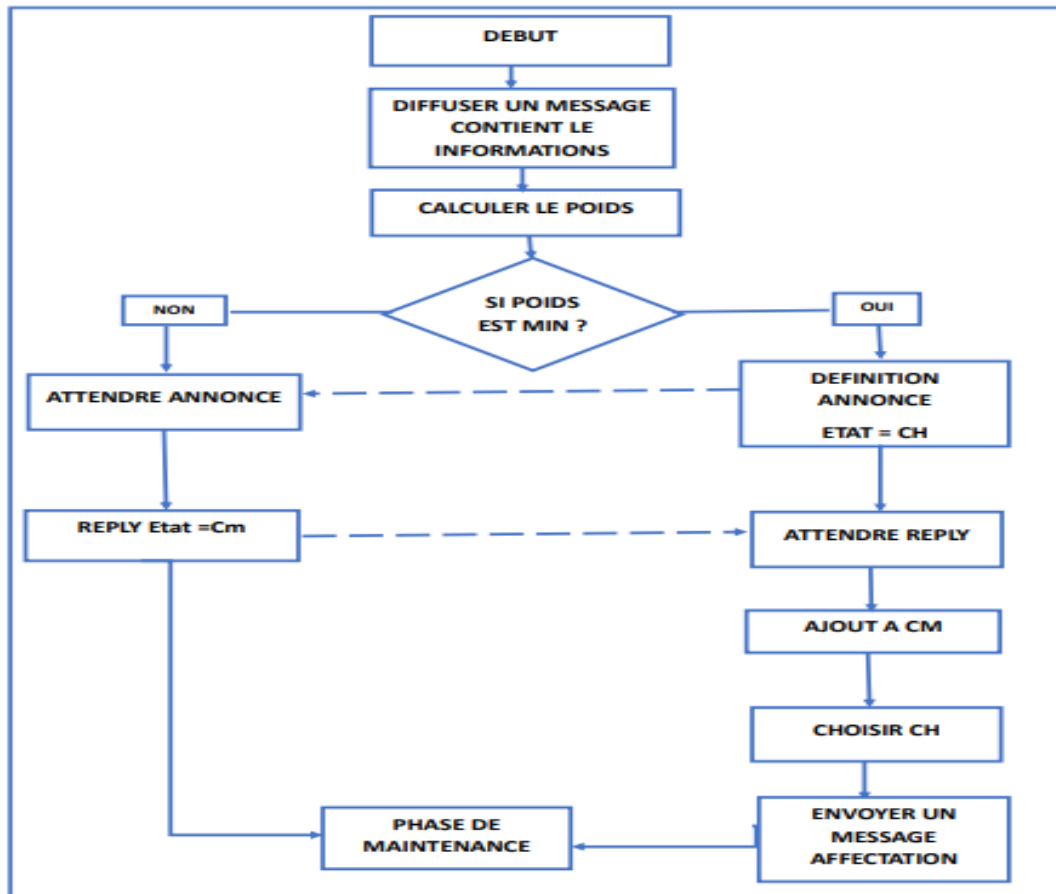


FIGURE 3.2 – Processus d'élection des CHs et formation des clusters.

### 3.2.6 Exemple illustratif

L'indice de mobilité (IM) est considéré comme la métrique la plus importante, il est donc attribué un coefficient élevé (0.6). L'indice de voisinage (IV) et la distance relative moyenne sont considérés comme des métriques moins importantes, ils sont donc attribués des coefficients bas de 0,2 et 0,2 respectivement.

La Figure 3.3 présente un exemple simple de la phase d'initialisation du cluster de notre schéma proposé avec 11 nœuds (véhicules). Le Tableau 3.1 illustre les différents paramètres des nœuds.

Dans un premier temps, chaque véhicule émet un message "HELLO" à ses voisins situés à une distance d'un saut (voir Figure 2b). Ensuite, chaque nœud diffuse un paquet "REQUEST" à ses voisins, incluant son poids (voir Figure 2c). Ainsi, chaque nœud compare son poids avec les poids reçus. Si son poids est le plus faible, le nœud doit annoncer son élection en tant que nouveau "CH" (Cluster Head) (dans ce cas, les nœuds 7 et 9 annonceront qu'ils sont le CH).

En revanche, les nœuds restants sélectionnent le nœud avec la valeur de poids la plus basse comme leur nouveau CH parmi leurs voisins. Ainsi, après avoir reçu le message d'annonce (ANNONCE) du CH, chaque nœud répond en envoyant un message de réponse (REPLY). Si un nœud reçoit deux ou plusieurs messages d'annonce, il répondra au CH ayant le poids le plus bas (le nœud 4 a reçu deux messages d'annonce des nœuds 7 et 9 (voir Figure 2e)). Finalement, l'état des clusters devient le suivant : C1CH :7; CM : 1,3,6,10,4 et C2CH :9; CM : 2,5,11,8 (voir Figure 2f).

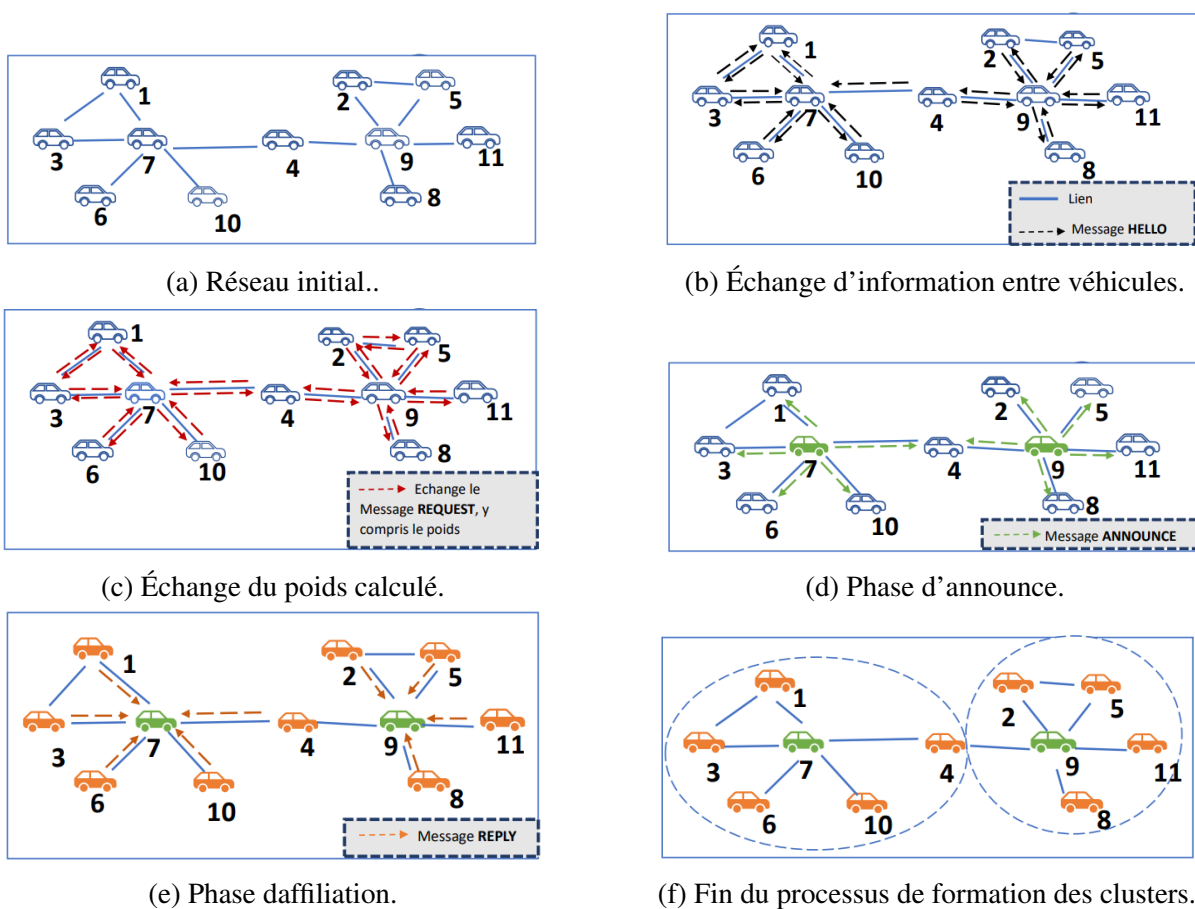


FIGURE 3.3 – Exemple d'élection des CHs et formation des clusters.



$$P_i = (C_1 \times IV_i) + (C_2 \times DRM_i) + (C_3 \times IM_i). \quad (3.13)$$

TABLE 3.1 – Exemples d'élection de CH selon la formule proposée

Nœud i	$IV_i$	$DRM_i$	$IM_i$	$P_i$
1	0.5	150	6.08	33.74
2	0.2	100	8.24	24.98
3	0.5	130	7.22	30.43
4	1	210	9.05	47.63
5	0.2	120	6.87	28.16
6	0.25	90	8.45	23.12
7	0.5	60	7.15	16.39
8	0.5	240	9.8	53.98
9	1	65	7.49	17.69
10	1	220	8.16	49.49
11	1	200	9.08	45.64

### 3.2.7 Phase de maintenance

Dans un réseau VANET, la mobilité des véhicules est très élevée, ce qui signifie que les véhicules peuvent rejoindre et quitter les clusters à tout moment. Cela rend la gestion des clusters et la maintenance de leur stabilité très difficile. C'est pourquoi des mécanismes de gestion de clusters efficaces sont nécessaires pour garantir que les clusters restent stables et fonctionnels le plus longtemps possible.

#### 3.2.7.1 Détection de la sortie de CH :

Après la phase de formation de clusters, une liaison de communication est établie entre le CH et son CH de secours (SCH) pour échanger périodiquement des messages indiquant leur statut dans le cluster. Si le SCH ne reçoit pas de message périodique de son CH sur une période, cela signifie que le CH a quitté le cluster et le SCH doit alors remplacer son CH et doit informer les autres membres du cluster de cette mise à jour.

### 3.2.7.2 Un membre (CM) quitte le cluster :

Les membres du cluster doivent prouver leur existence en échangeant périodiquement des messages avec leur CH. Lorsqu'un membre quitte le cluster, son CH détecte cet événement et le supprime immédiatement de sa liste de membres.

### 3.2.7.3 Rejoindre un cluster :

Après l'étape de formation de clusters, lorsqu'un nouveau nœud entre dans le réseau et également dans la portée d'un CH, ce dernier calcule sa vitesse relative. Si cette vitesse est inférieure ou égale à la vitesse relative moyenne de ses membres, le CH ajoute immédiatement ce nœud dans sa liste des CMs. Ce nœud rejoint le cluster et met à jour son état à CM.

## 3.2.8 Analyse théorique (complexité)

En supposant que :

- $n$  est le nombre de véhicules dans le réseau.
- $m$  ( $m < n$ ) est le nombre maximum de voisins pour un nœud du réseau.
- $l$  ( $l \leq m$ ) est le nombre de voisins pour un véhicule.
- $r$  ( $r \leq l$ ) est le nombre de réponses (Reply) envoyés a un CH par les membres.
- $c$  ( $c < n$ ) est le nombre de CH.

1. **Initialement**, chaque véhicule envoie un message contenant ses informations (position, id, vitesse, etc) à ses voisins à un saut, avec une complexité dans le pire des cas de  $O(nm)$  ;
2. **deuxièmement**, chaque véhicule calcule son poids et envoie des messages contenant ce poids calculé à ses voisins à un saut, avec une complexité dans le pire des cas de  $O(nm)$  ;
3. **troisièmement**, chaque CH élu diffuse un message ANNONCE dans le réseau, avec un coût dans le pire des cas de  $O(cm)$  ;
4. **quatrièmement**, chaque nœud CH reçoit  $r$  messages REPLY afin de rejoindre son cluster, avec un coût dans le pire des cas de  $O(cm)$  ;

5. **cinquièmement**, La complexité totale dans l'algorithme proposé est  $O(2nm+2cm)$ , ce qui conduit à une complexité totale linéaire dans le pire des cas de  $O(n)$ .

### 3.3 Conclusion

Effectivement, il s'agit d'un travail intéressant et novateur visant à améliorer les performances des réseaux VANET (Vehicular Ad-Hoc Networks) autoroutiers en utilisant une approche basée sur les poids et en prenant en compte la mobilité des véhicules.

L'objectif principal de l'algorithme proposé est de permettre à chaque véhicule d'obtenir et de partager les informations nécessaires en utilisant une méthode d'assemblage efficace. Cette méthode utilise une nouvelle métrique appelée Indice de Mobilité (IM), qui combine des mesures de la mobilité du véhicule en prenant en compte la vitesse et l'accélération, ainsi que des mesures pondérées classiques telles qu'un indice de voisinage et la distance relative moyenne aux voisins.

En outre, le travail propose également une méthode pour stabiliser le cluster en élisant un chef de cluster secondaire ou secours (SCH) en plus du premier chef de cluster.

Le prochain chapitre du travail présente la partie de simulation de notre approche proposée en utilisant les outils nécessaires.

# Chapitre 4

## Simulation et évaluation

### 4.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'utilisation de simulateurs de réseau pour valider les protocoles et algorithmes dans le domaine des réseaux informatiques. En utilisant le simulateur NS-2, nous détaillerons le fonctionnement de notre protocole et fournirons une explication approfondie. Pour évaluer les performances, nous utiliserons un environnement de simulation comprenant les simulateurs NS-2 et VanetMobiSim, ainsi que le modèle IDM-LC, afin d'évaluer les performances des réseaux de communication. Cette approche nous permettra de réduire les coûts associés à la validation et de mener une étude approfondie des performances du protocole.

### 4.2 Environnement de simulation

La simulation informatique, également connue sous le nom de simulation numérique, implique l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur ou un réseau afin d'étudier et de reproduire des phénomènes physiques réels. NS-2 et VanetMobsim sont parmi les simulateurs de réseau les plus largement utilisés, offrant une plateforme puissante pour modéliser et évaluer divers scénarios de réseau. Grâce à ces simulateurs, les chercheurs et les ingénieurs peuvent simuler des situations complexes, tester des protocoles de communication, évaluer les performances du réseau et prendre des décisions éclairées pour la conception et le déploiement de réseaux. Dans notre tra-

vail, nous avons adopté le simulateur NS-2 (Network Simulateur version 2) ainsi que VanetMobsim (générateur de mobilité) pour mener nos simulations et analyses.

#### **4.2.1 Présentation du simulateur NS-2**

NS-2 est un simulateur largement utilisé et reconnu dans la recherche et l'industrie pour la modélisation et l'évaluation de réseaux de communication. Il offre une grande puissance et polyvalence, permettant une analyse approfondie des performances des réseaux. NS-2 facilite les expérimentations précises et les études des comportements et des protocoles de communication. Son adoption répandue témoigne de son efficacité et de sa pertinence dans le domaine des réseaux.

Le langage de programmation utilisé par NS-2, également connu sous le nom de Network Simulator 2, est le langage de script Tcl (Tool Command Language). NS-2 utilise une architecture basée sur Tcl pour décrire la topologie du réseau, les nœuds et les protocoles de communication. Nous avons utilisé la version NS-2 2.35 pour nos expérimentations, exécutée sur une machine équipée d'un processeur Intel i7 de 7e génération et 8 Go de RAM.

#### **4.2.2 Présentation du générateur de mobilité VanetMobiSim**

VanetMobiSim est un simulateur spécialement conçu pour les réseaux de véhicules autonomes (VANETs), offrant des fonctionnalités avancées pour la modélisation, la simulation et l'évaluation de ces réseaux. Cet outil est d'une grande valeur pour la recherche, le développement et l'optimisation des systèmes de communication et de mobilité dans le domaine des véhicules autonomes.

VanetMobiSim propose une interface conviviale et une visualisation graphique permettant de représenter les mouvements des véhicules, les échanges de messages et les statistiques de performance. Il offre ainsi une représentation visuelle claire des scénarios de VANETs simulés. De plus, il permet de générer des rapports détaillés sur les résultats de simulation, fournissant ainsi une base solide pour l'analyse et la prise de décision.

Grâce à ses fonctionnalités avancées et son interface conviviale, VanetMobiSim consti-

tue un outil puissant pour la modélisation et l'évaluation des VANETs, contribuant ainsi à l'avancement de la recherche et du développement dans le domaine des véhicules autonomes.

### **4.2.3 Modèle de mobilité IDM-LC**

L'IDM-LC (Intelligent Driver Modèle avec changements de voie) est un modèle avancé largement utilisé dans les systèmes de transport intelligents (STI) pour représenter le comportement des conducteurs lorsqu'ils effectuent des changements de voie sur les routes. Ce modèle étend l'IDM (Intelligent Driver Model) en incluant à la fois le comportement de suivi des véhicules et les actions de changement de voie.

L'IDM-LC utilise des équations mathématiques pour capturer la dynamique du trafic, en tenant compte de facteurs tels que la vitesse, la distance de sécurité, l'accélération et les intentions de changement de voie des conducteurs. Il fournit ainsi une représentation réaliste du comportement des conducteurs dans des scénarios de circulation réels.

Ce modèle joue un rôle important dans la simulation du trafic, l'analyse des flux de circulation et le développement de stratégies de gestion du trafic plus efficaces et sécurisées. Grâce à l'IDM-LC, les chercheurs et les professionnels des STI peuvent étudier et évaluer les interactions entre les véhicules, prédire les changements de voie et optimiser les flux de circulation pour améliorer la sécurité et l'efficacité du réseau routier.

## **4.3 Métriques d'évaluation**

Il existe un large éventail de métriques d'évaluation disponibles pour mesurer les performances dans différents domaines. Le choix de la métrique adaptée dépend du problème spécifique que l'on souhaite résoudre et du domaine d'application.

Il est important de sélectionner la métrique qui convient le mieux à votre objectif afin d'obtenir une évaluation précise. Différentes métriques sont utilisées en fonction du type de tâche, que ce soit la classification, la régression, la recommandation ou d'autres domaines. Chaque métrique offre un point de vue différent sur les performances du système ou du modèle.

En résumé, il est crucial de prendre en compte le contexte de votre étude et de comprendre les implications des différentes métriques d'évaluation disponibles. Cela permettra de choisir la métrique appropriée qui vous aidera à évaluer efficacement et de manière significative les performances de votre système ou de votre modèle.

### **4.3.1 Durée de Vie de Réseau**

Les composants du réseau ont une durée de vie significative.

#### **1. Durée de vie de CH (CHL) :**

CHL (Cluster Head Lifetime) se réfère à la période pendant laquelle un véhicule spécifique reste chef d'un cluster dans le réseau véhiculaire.

#### **2. Durée de vie de CM (CML) :**

CM (Cluster Member) ou CML (Cluster Member Lifetime) se réfère à la période pendant laquelle un véhicule spécifique reste membre d'un cluster dans le réseau véhiculaire.

#### **3. Nombre de Clusters (CN) :**

Le nombre de clusters est une mesure importante pour évaluer la structure et l'organisation d'un réseau. Un nombre approprié de clusters peut contribuer à une meilleure efficacité de communication, à une réduction des collisions et à une gestion optimale des ressources.

#### **4. Surcharge réseau (overhead) :**

Le terme "nombre de paquets" désigne la quantité de paquets de données échangés lors du processus de clustering au sein du réseau véhiculaire. Il représente la mesure de la quantité de données transférées entre les nœuds pendant la phase de formation des clusters.

## **4.4 Évaluation des Performances**

Dans cette section, nous avons mené une étude approfondie en utilisant l'émulateur NS-2 pour évaluer les performances de nos approches MCA-V2I et HCAR par rapport aux résultats de simulation.

Les simulations ont été réalisées en utilisant les paramètres suivants : une zone de 1000×50 mètres contenant de 80 à 100 véhicules dont la vitesse varie entre 10 m/s et 35 m/s. Les nœuds véhiculaires se déplacent sur une autoroute à sens unique de deux voies d’une longueur de 5 km. De plus, la portée de transmission de chaque véhicule varie de 1500 mètres. La durée totale de la simulation dans ce travail est de 360 secondes. Les positions des véhicules ont été assignées de manière aléatoire. Les autres paramètres de la simulation sont récapitulés dans le Tableau 4.1.

TABLE 4.1 – Tableau des paramètres des Simulations.

Paramètre	Valeur
Zone de simulation	5 000 m × 100 m
Temps de simulation	360 s
Nombre de nœuds	80 - 100
Vitesse minimale	10 m/s
Vitesse maximale	35 m/s
Modèle de Mobilité	IDM-LC
Modèle de Propagation	TwoRayGround
Protocole de routage	AODV

## 4.5 Choix des coefficients

Dans le chapitre précédent, nous avons proposé une formule pour l’élection deS Clusters Heads (CH) basée sur un poids. Nous avons mené plusieurs expériences de simulation pour évaluer différentes valeurs de  $C_1$ ,  $C_2$  et  $C_3$ . L’indice de mobilité (IM) a été identifié comme la métrique la plus importante, donc nous lui avons attribué un coefficient élevé de 0.6. L’indice de voisinage (IV) et la distance relative moyenne ont été considérés comme des métriques moins importantes, donc nous leur avons attribué des coefficients plus bas de 0.2 chacun.

### 4.5.1 Durée de vie de CH (CHL)

La Figure 4.1 illustre la durée de vie moyenne des Clusters Heads (CH) dans notre schéma proposé, en comparaison avec les protocoles HCAR et MCA-V2I, à différentes vitesses. Les résultats de notre étude montrent de manière significative que notre schéma proposé offre une durée de vie des CH supérieure à celle des autres protocoles. Cela



indique que notre approche permet une meilleure stabilité et une utilisation plus efficace des ressources dans les réseaux ad hoc. Ces résultats renforcent la pertinence et l'efficacité de notre proposition dans le contexte spécifique étudié.

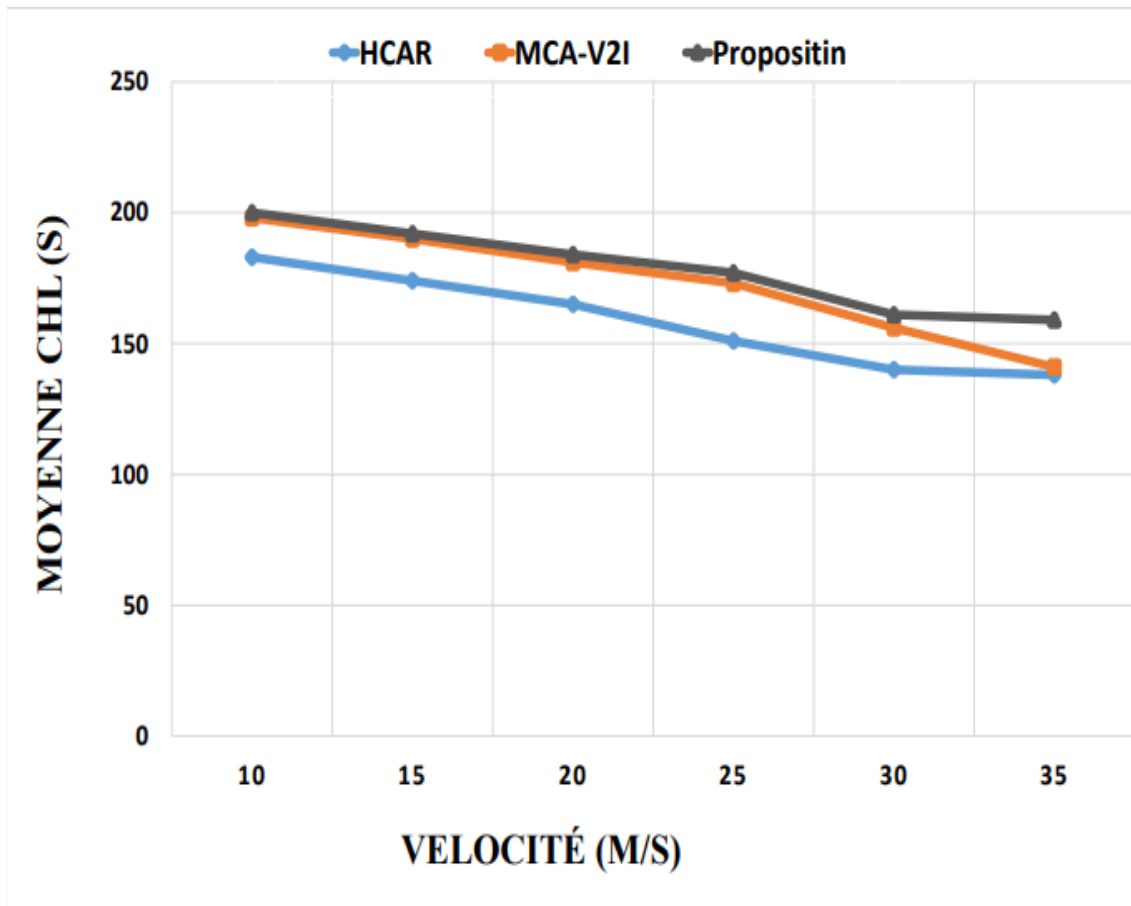


FIGURE 4.1 – Durée de vie de CH par rapport la vitesse.

#### 4.5.2 Durée de vie de CM (CML)

La Figure 4.2 présente la durée de vie moyenne des membres des clusters (CM) dans notre schéma proposé, en comparaison avec les protocoles HCAR et MCA-V2I, à différentes vitesses. Les résultats de notre étude démontrent de manière significative que notre schéma proposé offre une durée de vie des CM supérieure à celle des autres protocoles. Cela indique que notre approche permet une meilleure stabilité et une utilisation plus efficace des ressources dans les réseaux ad hoc. Ces résultats renforcent la pertinence et l'efficacité de notre proposition dans le contexte spécifique étudié, en assurant une meilleure durabilité des clusters et une meilleure gestion des membres.

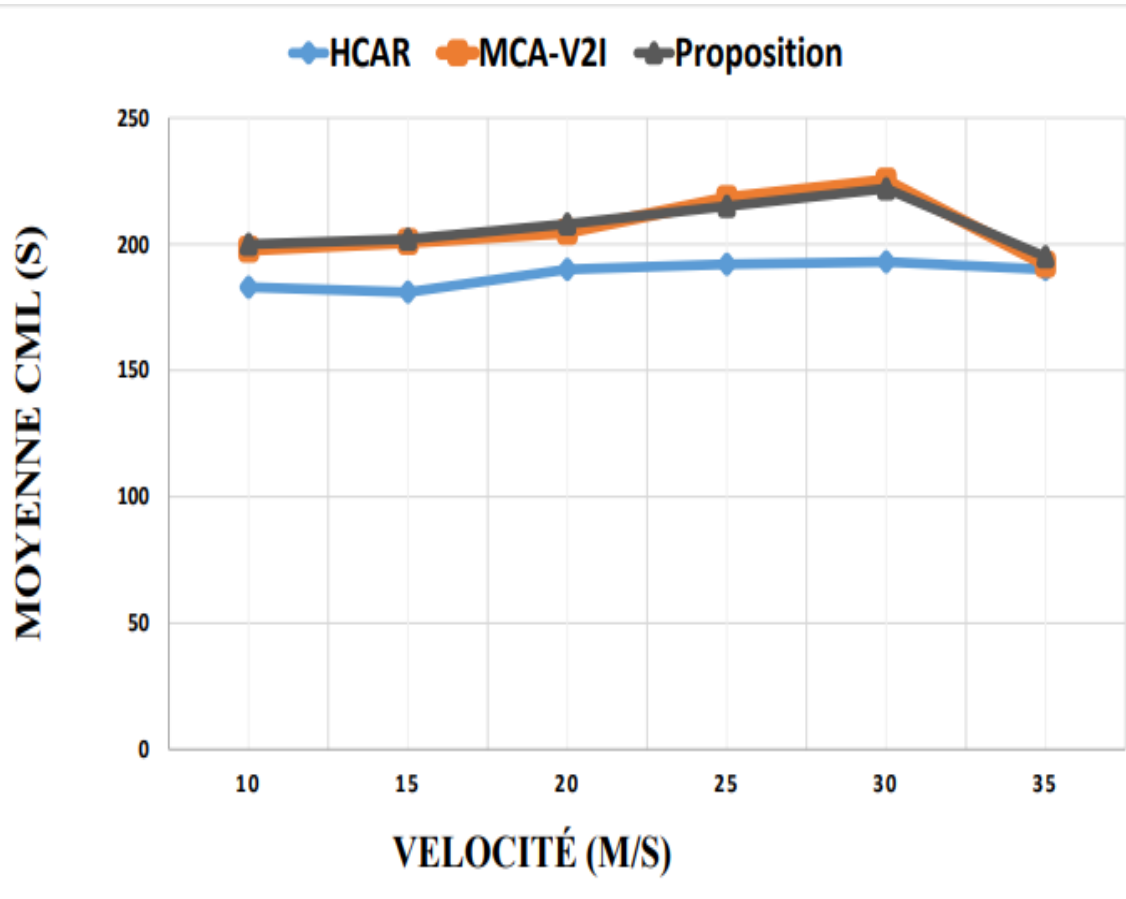


FIGURE 4.2 – Durée de vie de CM .

### 4.5.3 Nombre de clusters

La Figure 4.3 illustre le nombre moyen de clusters dans notre schéma proposé, comparé aux protocoles HCAR et MCA-V2I, à différentes vitesses. Les résultats de notre étude démontrent de manière significative que notre schéma proposé offre un nombre de clusters moyen supérieur à celui des autres protocoles. Cela indique que notre approche favorise une meilleure organisation des clusters et une utilisation plus efficace des ressources dans les réseaux ad hoc. Ces résultats renforcent la pertinence et l'efficacité de notre proposition dans le contexte spécifique étudié, en assurant une meilleure gestion des clusters et une meilleure coordination entre les membres.

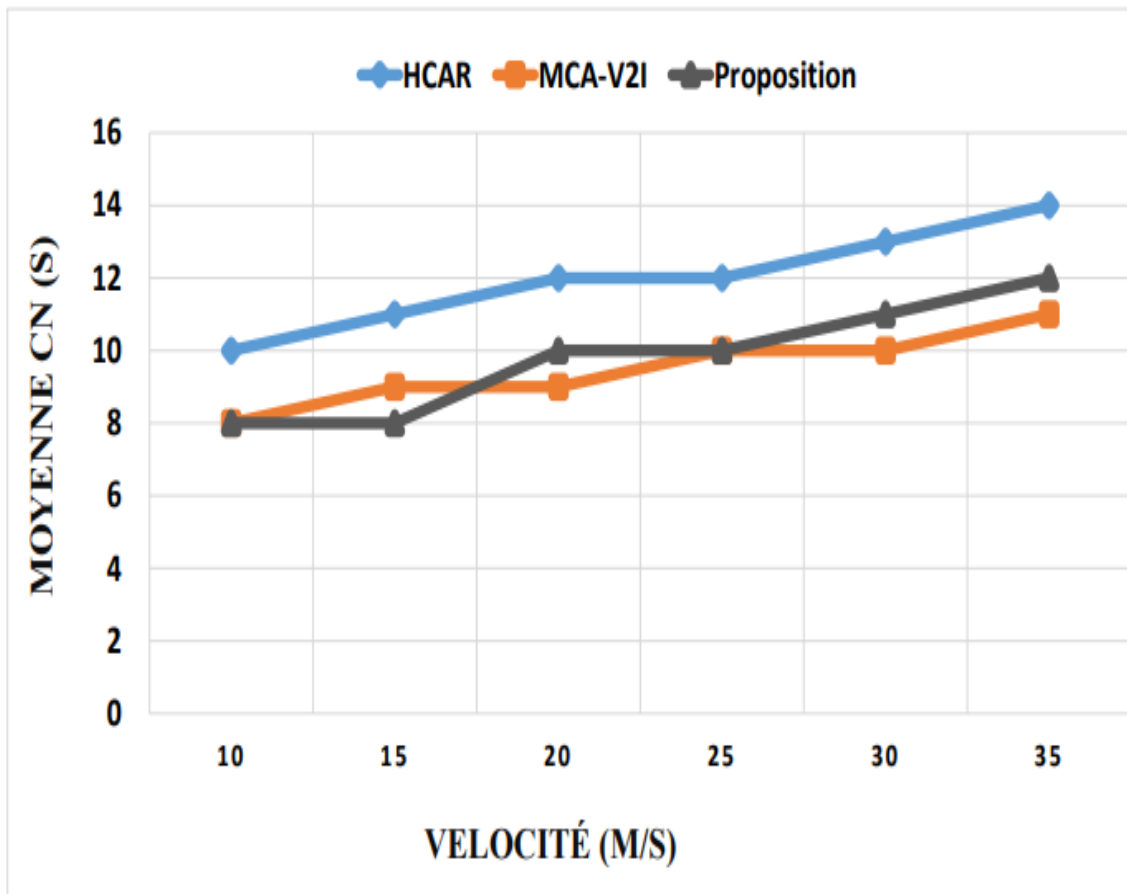


FIGURE 4.3 – Nombre de clusters.

#### 4.5.4 Clustering overhead

La Figure 4.4 présente la surcharge réseau (overhead) dans notre schéma proposé, comparé aux protocoles HCAR et MCA-V2I, à différentes vitesses. Les résultats de notre étude démontrent de manière significative que notre schéma proposé génère une surcharge réseau inférieur à celui des autres protocoles. Cela indique que notre approche favorise une meilleure utilisation des ressources et une réduction des transmissions inutiles dans les réseaux ad hoc. Ces résultats renforcent la pertinence et l'efficacité de notre proposition dans le contexte spécifique étudié, en assurant une gestion plus efficace du réseau et une réduction des coûts de communication.

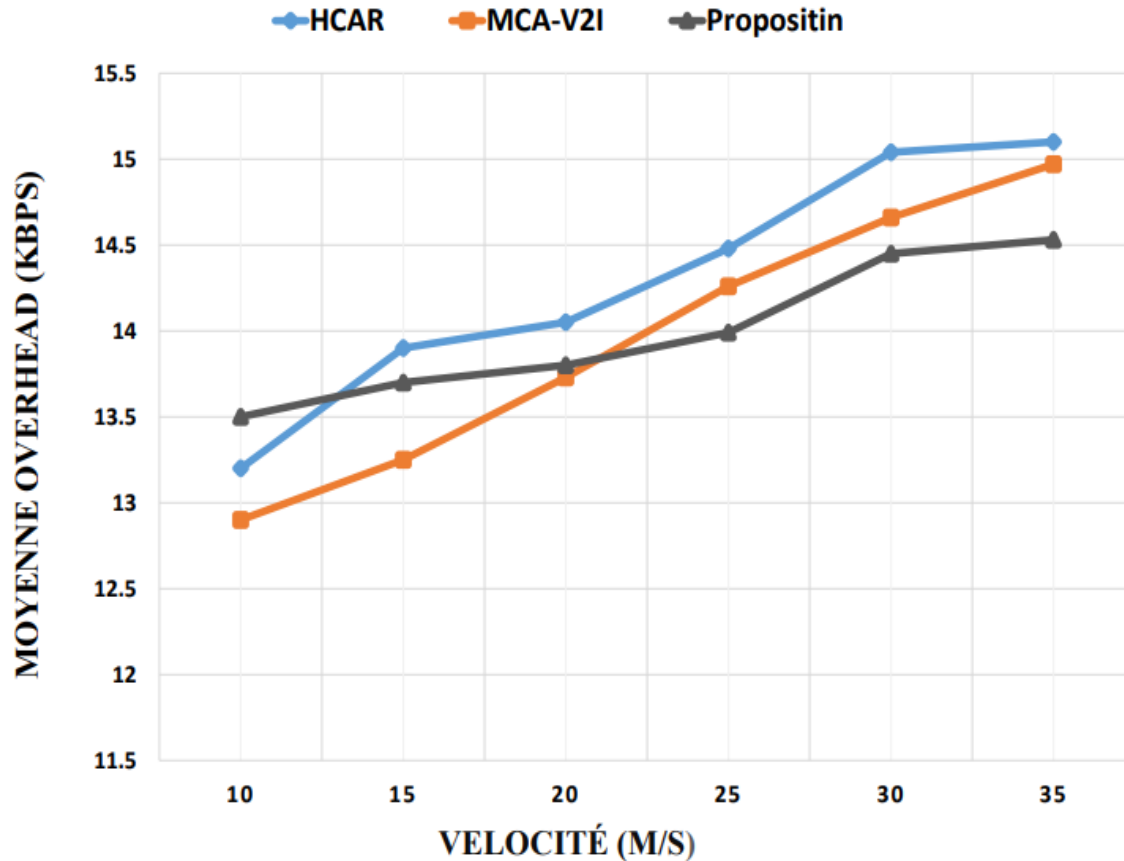


FIGURE 4.4 – Clustering overhead .

## 4.6 Conclusion

Dans cette étude, nous avons souligné l'importance de l'utilisation de simulateurs, du choix approprié des métriques d'évaluation et de l'analyse comparative des performances des protocoles pour la conception, le développement et l'optimisation des réseaux de communication. Ces outils et approches offrent aux chercheurs et aux ingénieurs la possibilité de prendre des décisions éclairées pour améliorer la conception et le déploiement des réseaux. En utilisant des simulateurs tels que NS-2 et VanetMobiSim, nous avons pu modéliser et évaluer différents scénarios de réseau, tester des protocoles de communication et analyser les performances du réseau dans des conditions contrôlées. En sélectionnant les métriques d'évaluation appropriées, nous avons pu quantifier et comparer les performances des protocoles afin de comprendre leurs forces et leurs faiblesses. Ces informations sont essentielles pour améliorer la conception des réseaux, optimiser les ressources disponibles et prendre des décisions straté-

giques pour garantir des réseaux de communication performants et fiables. En conclusion, l'utilisation de simulateurs, la sélection appropriée des métriques d'évaluation et l'analyse comparative des performances des protocoles constituent des éléments indispensables pour l'avancement des réseaux de communication et pour répondre aux défis actuels et futurs de connectivité.

# Conclusion générale

L'Internet des Véhicules (IoV) est un domaine de recherche actif dans le domaine des systèmes de transport intelligents, offrant des solutions aux problèmes de conduite et de trafic grâce aux technologies de l'information et de la communication. Malgré ses avantages, l'IoV présente des défis et des limitations qui nécessitent l'exploration de nouvelles solutions. Nous avons examiné en détail les fondements de l'IoV, les réseaux VANET et les techniques de clustering. Dans ce projet, nous avons proposé une approche novatrice de clustering pour les réseaux véhiculaires modernes. Notre approche s'est concentrée sur l'amélioration des performances et de la scalabilité des réseaux VANET. Tout d'abord, nous avons présenté une revue approfondie de la littérature sur les algorithmes de clustering dans les VANET. Dans ce contexte, nous avons introduit une nouvelle taxonomie pour examiner et classer ces algorithmes, et discuter de leurs avantages et inconvénients. De plus, une comparaison détaillée est fournie pour chaque classe de la taxonomie proposée en tenant compte des paramètres clés pertinents. L'étude approfondie des solutions précédentes a guidé nos travaux vers la concept de regroupement pour atteindre notre objectif. Dans notre conclusion, nous avons souligné l'importance de la sélection des métriques d'évaluation appropriées et de l'analyse comparative des performances des protocoles dans la conception des réseaux de communication. Nous avons également identifié des travaux futurs potentiels, tels que la validation pratique de notre approche, l'étude de la scalabilité, la sécurité, l'adaptabilité et l'intégration des véhicules autonomes. En poursuivant ces recherches, il sera possible d'améliorer davantage les performances des réseaux véhiculaires et de créer un avenir connecté et sécurisé sur les routes. Les résultats expérimentaux démontrent que les approches proposées montrent de meilleures performances par rapport à d'autres algorithmes référencés en termes de différents paramètres de

performance, tels que la durée de vie CH, la durée de vie CM, le taux de variation CH, cluster nombre et surcharge de clustering, délai de remise des messages et ratio de remise des messages. Nous avons examinée la littérature existante concernant les algorithmes de clustering selon la classification proposée. proposition d'un nouveau algorithme de clustering basé sur le poids pour les réseaux IoVs. l'évaluation de performances de l'algorithme proposé. dans les Travaux future Amélioration de l'algorithme proposé en utilisant des techniques de l'intelligence artificielle.

# Références

- [1] M. Al-Shabi and A. Al-Qarafi, "Improving blockchain security for the internet of things : challenges and solutions," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 12, pp. 5619–5629, 10 2022.
- [2] A. Ali, M. N. B. Mohd Warip, N. Yaakob, W. Abduljabbar, and A. Atta, "Evaluation and development the routing protocol of a fully functional simulation environment for vanets," *AIP Conference Proceedings*, vol. 1905, p. 040006, 11 2017.
- [3] R. Gasmi, M. Aliouat, and H. Seba, "Robust applications for internet of vehicles," 11 2020.
- [4] Z. Lv, G. He, H. Yang, R. Chen, Y. Li, W. Zhang, C. Qiu, and Z. Liu, "The investigation of underwater wireless optical communication links using the total reflection at the air-water interface in the presence of waves," *Photonics*, vol. 9, p. 525, 07 2022.
- [5] Y. Z. Edited By Hassnaa Moustafa, "Techniques, standards, and applications, vehicular networks," *Photonics*, p. 450, 04 2009.
- [6] J. J. S. S. J. D. G. Oh, P. Kim and H. Lee., "Design considerations of satellite-based vehicular broadband networks." *IEEE Wireless Communications*, vol. 12(5), p. 91–97, Oct 2005.
- [7] M. B. T. M. M. Rima, "Techniques de contrôle de congestion dans les réseaux véhiculaires." <http://univ-bejaia.dz/dspace/handle/123456789/12174>, p. 52, 07 2018.
- [8] D. Ahmed, "Une approche d'incitation à la mise en cache concurrentielle dans les réseaux d'internet de véhicules." <http://Université Mohamed Seddik Ben Yahia>



de Jijel Faculté des sciences exactes et Informatique Département d'Informatique, p. 121, 2020.

- [9] O. SENOUCI, "Application de l'approche clustering dans le contexte de l'iov," *http://Université Ferhat Abbas Setif-1 Faculte des Sciences Département d'Informatique*, vol. 1, p. 168, 06 2019.
- [10] R. Mahesh, S. S. Jawaligi, and V. Patil, "Sftd : A smart forwarding technique based reliable data dissemination scheme for vanets," *Measurement : Sensors*, vol. 24, p. 100572, 2022. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917422002069>
- [11] M. S. Azhdari, A. Barati, and H. Barati, "A cluster-based routing method with authentication capability in vehicular ad hoc networks (vanets)," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 169, pp. 1–23, 2022. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0743731522001447>
- [12] S. A. Rashid, L. Audah, and M. M. Hamdi, "Intelligent transportation systems (itss) in vanet and manet," pp. 667–675, 2022.
- [13] K. Lakshmi Narayanan and R. Naresh, "An efficient key validation mechanism with vanet in real-time cloud monitoring metrics to enhance cloud storage and security," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 56, p. 102970, 2023. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138822010189>
- [14] B. Elira, K. Keerthana, and K. Balaji, "Clustering scheme and destination aware context based routing protocol for vanet," *International Journal of Intelligent Networks*, vol. 2, pp. 148–155, 2021. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666603021000221>
- [15] G. Shanmugasundaram, P. Thiyagarajan, S. Tharani, and R. Rajavandhini, "A multilevel clustering using multi-hop and multihead in vanet," pp. 171–178, 2017.
- [16] M. R. Akbari Torkestani, Javad Meybodi, "A mobility-based cluster formation algorithm for wireless mobile ad-hoc networks," 2011.

- [17] I. I. Er and W. K. Seah, "Performance analysis of mobility-based d-hop (mobdhop) clustering algorithm for mobile ad hoc networks," *Computer Networks*, vol. 50, no. 17, pp. 3375–3399, 2006. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128606000156>
- [18] M. Balzano, W. Balzano, L. Sorrentino, and S. Stranieri, "Smart destination-based parking for the optimization of waiting time," pp. 1019–1027, 2020.
- [19] S. Suguna Devi and A. Bhuvaneswari, "Identical destination based community in internet of vehicles (idcirov) for optimal path identification," pp. 368–378, 2020.
- [20] M. Montagud and F. Boronat, "Enhanced adaptive rtcp-based inter-destination multimedia synchronization approach for distributed applications," *Computer Networks*, vol. 56, no. 12, pp. 2912–2933, 2012. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128612001818>
- [21] M. Balzano, W. Balzano, L. Sorrentino, and S. Stranieri, "Smart destination-based parking for the optimization of waiting time," pp. 1019–1027, 2020.
- [22] S. Suguna Devi and A. Bhuvaneswari, "Identical destination based community in internet of vehicles (idcirov) for optimal path identification," pp. 368–378, 2020.
- [23] M. Montagud and F. Boronat, "Enhanced adaptive rtcp-based inter-destination multimedia synchronization approach for distributed applications," *Computer Networks*, vol. 56, no. 12, pp. 2912–2933, 2012. [Online]. Available : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128612001818>