

REPUBLIQUE TUNISIENNE MINISTERE DE  
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR



La distribution géographique de données dans l'internet des  
véhicules.

Présenté par :

Boufaïd Roua

Dirigé par :

Inès Ben Jaafar

Mémoire de mastère de recherche en Informatique Décisionnelle et  
Intelligence Appliquée à la Gestion (IDIAG)

Spécialité : Aide à la décision (AD)

Année universitaire : 2020-2021

Introduction générale .....	5
Chapitre 1 .....	9
Internet des véhicules: un aperçu .....	9
1.1 Introduction .....	10
1.1.1 Les réseaux véhiculaires ad hoc .....	10
1.1.1.1 Le principe des réseaux véhiculaires ad hoc.....	10
1.1.1.2 Les limites des réseaux véhiculaires ad hoc .....	11
1.2 Définition de l'loV.....	11
1.3 Architecture de communication d'loV .....	12
1.4 Architecture en couches d'loV .....	13
1.5 Technologies de réseau .....	14
1.6 Plate-forme réseau.....	16
1.7 Les Applications d'loV .....	17
1.8 Caractéristiques et défis des loV.....	20
1.9 Simulations et modèles de mobilité pour loV.....	21
1.10 Conclusion.....	22
Chapitre 2 .....	24
État de l'art : .....	24
Protocoles de routage dans les VANET .....	24
2.1 Introduction .....	25
2.2 Classification des protocoles de routages .....	26
2.2.1 Protocoles de routage basés sur la topologie .....	26
2.2.2 Protocoles de routage géographique .....	28
2.2.2.1 Les protocoles de routage géographique pour l'environnement autoroutier .....	28
2.2.2.2 Les protocoles de routage géographique pour l'environnement Urban .....	30
2.2.3 Protocoles de routage basés sur QoS .....	32
2.2.4 Algorithmes de transfert de paquets.....	34
2.2.5 Protocoles de routage basés sur des clusters .....	35
2.3 Classification et comparaison des protocoles de routage.....	36
Les algorithmes de clustering pour les IOV .....	38
2.4 Classification des algorithmes de clustering.....	38
2.4.1 Algorithmes de clustering classiques basés sur MANET .....	38
2.4.2 Algorithmes de clustering basés sur le voisinage .....	39
2.4.3 Algorithmes de clustering basés sur les informations géographiques .....	40

2.4.4	Algorithmes de clustering basés sur la mobilité.....	41
2.4.5	Algorithmes de clustering basés sur le poids .....	42
2.4.6	Algorithmes de clustering bio-inspirés .....	42
2.5	Conclusion.....	44
Chapitre 3 .....		45
Contribution .....		45
Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering .....		45
3.1	Algorithme de clustering WBCA pour IoV.....	46
3.1.1	Introduction.....	46
3.1.2	Motivation et approche de clustering .....	47
3.1.3	Paramètres utilisés .....	48
3.1.4	Architecture du réseau .....	51
3.2	Protocole de routage RBDGR pour IOV .....	59
3.2.1	Introduction.....	59
3.2.2	Motivation et approche de routage .....	60
3.2.3	Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR).....	61
3.2.3.1	Hypothèses .....	62
3.2.3.2	Paramètres utilisés.....	62
3.3	Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering.....	64
3.3.1	Motivation et approche de routage basé sur le clustering .....	64
3.4	Conclusion.....	65
Chapitre 4 .....		67
Implémentation et Résultats .....		67
4.1	Introduction .....	68
4.2	Implémentation.....	68
4.2.1	Environnement matériel .....	68
4.2.2	Environnement logiciel .....	68
4.3	Experimentations .....	68
4.4	Conclusion.....	68
Conclusion générale.....		69
Bibliographie:.....		70



\*\*\*\*\*

*Introduction générale*

\*\*\*\*\*

De nos jours, l'utilisation des technologies de communication sans fil dans le domaine des transports s'est accrue avec la croissance active du développement des voitures intelligentes. Il a été annoncé que le nombre de véhicules en circulation est passé d'environ des dizaines de millions en 2006 à des milliers de millions en 2015 et ce nombre continue d'augmenter pour le moment[1].

Ainsi que Les PRÉDICTIONS montrent que d'ici 2020, environ 1,25 milliard de « choses » seront toutes reliées à Internet et qu'une grande partie de ce nombre proviendra des véhicules.

Les domaines existants tels que les transports intelligents, l'industrie intelligente, la santé intelligente, la maison intelligente et l'énergie intelligente connaissent déjà l'intégration 5 de l'intelligence par l'Internet des objets (IoT).

Ainsi, la demande de nouvelles méthodes pour contrôler les systèmes de transport est très nécessaire. C'est pourquoi Vehicular Ad hoc NETWORKS (VANET) ont été créés. Les VANET peuvent être considérés comme l'application de Mobile Ad hoc NETWORKS (MANET) pour le partage d'informations sur le trafic routier. Ils offrent des communications véhiculaires via des réseaux sans fil et mobiles avec ou sans infrastructures.

Les VANET appliquent l'échange et le traitement des données aux moyens de transport, aux infrastructures et aux utilisateurs dans le but d'augmenter l'efficacité, la résilience, la sécurité, la robustesse et la performance environnementale des systèmes de transport. En conséquence, les VANET fournissent un contrôle et des services intelligents aux environnements véhiculaires.

L'apparition des nouveaux concepts d'Internet des objets (IoT), du big data, du cloud computing a encouragé la généralisation des VANET à l'Internet des véhicules (IoV), une technologie émergente permettant de connecter tous les appareils intelligents tels que les véhicules et les véhicules à tout (V2X), les systèmes de feux de circulation intelligents, les appareils intelligents de bureau et de maison, où on trouve aussi que les véhicules agissent comme des membres actifs et des entités intelligentes avec de nouvelles capacités de perception et de communication [2], fournir une connectivité omniprésente, une large gamme d'applications et de services liés à la sécurité routière, au transport intelligent et au confort des usagers. Par conséquent, afin de répondre aux exigences des IoV, le cloud computing est envisagé.

De plus, le déploiement de ressources à la périphérie du réseau sans fil a été envisagé par l'industrie et le milieu universitaire afin de surmonter des problèmes tels que les capacités restreintes de stockage, d'informatique embarquée, d'énergie et de communication. Ce déploiement dans le cloud computing évite une latence inutile.

Particulièrement, un véhicule en IoV est perçu comme un système de communication mobile dynamique, qui prend en charge les modes de communication suivants: mode composants intra-véhicule et mode Vehicle-to-X (V2X), où X joue le rôle de: véhicule, route, infrastructure, humain, cloud ou Internet[2] .

Par rapport aux VANET conventionnels, l'IoV présente de nombreux avantages et caractéristiques spécifiques, tels que le développement et l'extension de l'exploitation des STI dans différents domaines de la recherche et de l'industrie. Comme principal avantage, la possibilité d'intégrer plusieurs utilisateurs, plusieurs véhicules et plusieurs réseaux en utilisant différentes technologies de communication.

Par conséquent, l'loV permet la réception, le stockage et le traitement d'un grand nombre de données provenant de différentes zones géographiques grâce à des systèmes informatiques de véhicules intelligents pour offrir plusieurs catégories de services pour la sécurité routière et d'autres services non liés à la sécurité aux conducteurs et aux passagers.

L'loV prend en charge un grand nombre d'applications et de services pertinents, tels que la prévention des accidents, l'avertissement de collision, la conduite coopérative, le diagnostic à distance sans fil, la régulation de la circulation, le guidage d'itinéraire, l'accès Internet et les applications d'infodivertissement comme jouer à des jeux et écouter de la musique.

En raison de cette polyvalence des applications et des services, l'loV devient une motivation de recherche majeure des gouvernements, des constructeurs automobiles et des institutions académiques, et attire de plus en plus d'intérêts de ceux-ci.

Même si l'loV présente de nombreux avantages, il souffre encore d'un certain nombre de défis tels que l'augmentation rapide du nombre de véhicules et d'autres objets connectés au système loV, l'intégration de tous les composants et les communications d'objets dans le réseau loV, les big data qui doivent être traitées et stockées dans le réseau loV[2] .

En outre, l'loV est confronté à de nombreux problèmes de mise en œuvre, tels que la sécurité et la fiabilité des communications inter-véhicules et diverses demandes d'assistance simultanées qui provoquent un nombre élevé de collisions[3].

Sinon, les défis qui existent déjà dans les VANET classiques affectent également le système de réseau tels que la mobilité élevée des véhicules, la densité variable, la topologie dynamique, la fragmentation du réseau et les modèles de communication. Tenu compte de tous les problèmes ci-dessus, le déploiement réussi de l'loV se compose d'un certain nombre de composants importants, dont l'un est de savoir comment établir des chemins de routage stables et efficaces des sources aux destinations dans les différents scénarios, par exemple dans des scénarios urbains complexes et denses.

Afin de permettre une distribution géographique de données efficace dans l'Internet des Véhicules, les travaux menés dans le cadre de cette mémoire de recherche ont visé à offrir une solution aux problèmes identifiés ci-dessus. Pour mettre en œuvre notre approche, tout d'abord un Algorithme de clustering basé sur l'information géographique (GICA) ensuite un protocole de routage glouton directionnel équilibré et fiable (RBDGR) et finalement une approche de routage combinée dans laquelle on a combinée GICA et RBDGR pour avoir un nouveau protocole nommé « Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering » ont été introduit.

Ce mémoire est organisé comme suit :

Le premier chapitre est un aperçu de l'Internet des véhicules, le deuxième chapitre est relative à l'état de l'art sur les protocoles de routage dans les VANET, par la suite un troisième chapitre présente l'approche utilisée pour permettre une distribution géographique de données efficace dans l'Internet des Véhicules. Le chapitre quatre, est consacré à l'implémentation de notre modèle et aux résultats expérimentaux obtenus lors de l'application de notre approche ainsi qu'une étude comparative avec une approche existante afin d'évaluer la performance de notre proposition.





\*\*\*\*\*

Internet des véhicules: un aperçu

\*\*\*\*\*

## 1.1 Introduction

Au cours de la dernière décennie, les communications mobiles ont connu un grand développement en nous permettant d'échanger des données avec n'importe quoi, n'importe où et à tout moment. L'utilisation de ce type de systèmes de communication développés dans les véhicules devrait devenir une réalité dans les années à venir. Les VANET héritent des caractéristiques des Mobile Ad hoc NETworks (MANET) en tant qu'objets connectés libres capables de se déplacer de manière aléatoire et de communiquer sans fil. VANET fait référence au système de transport intelligent (ITS), où les véhicules sont des objets intelligents qui communiquent (envoient et reçoivent des données) entre eux de manière intelligente[3]. Ce nouveau concept d'échange de données entre véhicules, capteurs et infrastructures offrira une grande variété d'applications pour le conducteur telles que: la sécurité du conducteur, l'assistance au conducteur et l'infodivertissement. L'Internet des objets (IoT) est un réseau d'objets contenant des capteurs dans lesquels ils capturent et collectent des données de leur environnement et diffusent des données via Internet [4]. L'Internet des véhicules (IoV) permet la collecte de données et le partage d'informations sur les véhicules, les routes et leur environnement. De plus, l'IoV inclut le traitement, le calcul et le partage de données sécurisé sur les plates-formes réseau. Grâce à ces données, la plate-forme du réseau peut gérer et superviser les véhicules de manière efficace et offrir divers services tels que des applications multimédias et Internet [5]. Les IoV sont considérés comme des systèmes intégrés prenant en charge la gestion intelligente du trafic routier, le service d'informations dynamiques intelligentes et le contrôle intelligent des véhicules, illustrant une application typique des technologies IoT dans les systèmes de transport intelligents (ITS).

Dans ce chapitre, nous allons présenter les concepts fondamentaux de l'IoV. Ici, nous soulignons les définitions, l'architecture, les applications, les technologies de communication, les caractéristiques, les défis auxquels est confronté l'environnement IoV sous différents aspects, et les simulations et modèles de mobilité utilisés pour concevoir un tel réseau IoV. Mais avant tout un petit aperçu sur l'évolution nécessaire du paradigme de communication pour répondre aux besoins des applications C-ITS, les réseaux véhiculaires ont dû évoluer. Cette évolution des réseaux véhiculaires d'une approche ad hoc vers l'Internet des Véhicules est aussi présentée dans cette section.

### 1.1.1 Les réseaux véhiculaires ad hoc

La solution considérée pour le déploiement des applications C-ITS dans cette section, est l'approche VANETs.

#### 1.1.1.1 Le principe des réseaux véhiculaires ad hoc

Les réseaux ad hoc véhiculaires (VANET) se basent principalement sur des communications directes entre véhicules V2V et encore les communications V2I (section 1.3). Ces communications assurent des délais de transmission courts et permettent donc la diffusion rapide d'informations concernant la détection d'un obstacle, l'état de la chaussée ou un freinage d'urgence. Ces réseaux ad hoc véhiculaires s'appuient sur deux composants que sont l'OBV et le RSU (Section 1.3), l'utilisation de RSUs, positionnés à des endroits stratégiques (intersections, parking) pourrait permettre une diffusion d'informations dans des zones géographiques plus étendues et une supervision plus efficace du trafic routier. S'appuient ainsi sur une technologie de communication conçue pour les réseaux

véhiculaires : l'ITS-G5, les réseaux véhiculaires ad hoc améliorent la sécurité routière et la fluidité du trafic. Cependant, considérant les besoins des applications C-ITS, différentes limitations peuvent être identifiées pour cette approche. Ceux-ci sont présentés dans la section suivante.

### 1.1.1.2 Les limites des réseaux véhiculaires ad hoc

Les réseaux véhiculaires ad hoc présentent certaines limitations qui pourraient entraver le développement de services C-ITS globaux et efficaces. Parmi les principales limites identifiées [6], on peut citer :

- l'insuffisance de l'interopérabilité : l'architecture des VANETs ne repose que sur des communications à courte portée entre les véhicules et les RSUs. Elle ne permet donc pas l'utilisation et l'interconnexion de différents réseaux de communication : LTE-V2X, ITS-G5, Li-Fi, etc. Ce qui rend le déploiement de services de transport intelligents globaux et fiables complexe ;

- les types de communication supportés : puisque les réseaux VANETs, ne support que les communications V2V et V2I. Ils ne permettent donc pas l'intégration de nouveaux types d'objets communicants connectés : caméras, téléphones, etc. Ceci risque l'efficacité de différentes applications comme la détection de piétons et/ou des obstacles ou la création coopérative de carte ;

- la limitation de la connectivité Internet : l'insuffisant nombre de RSU déployés dans ces réseaux VANETs, n'assure pas une connectivité Internet aux utilisateurs de la route, du coup peu de véhicules pourraient bénéficier d'une connectivité Internet. Par conséquent, l'évolution des services commerciaux, qui pourraient attirer de nouveaux investisseurs (publicité, divertissement, etc.), et des services de gestion du trafic est impossible ;

- la complexité du traitement des données : la faible connectivité Internet et les capacités de calcul et de stockage limitées, rendent pénible même impossible le traitement de volumes de données importants avec l'approche VANETs. Ainsi, la prise de décisions globales et "intelligentes" est compliquée. Les réseaux ad hoc ne peuvent pas donc figurer une solution permettant le déploiement des applications C-ITS. Aussi, pour répondre aux exigences de ces applications, il est nécessaire de développement d'une nouvelle architecture de communication pour améliorer la sécurité routière, garantir une connectivité Internet et d'offrir de nouvelles opportunités aux investisseurs (fournisseurs de services, constructeurs automobiles, etc.). Cette architecture de communication, appelée Internet des Véhicules (IoV).

## 1.2 Définition de l'IoV

Alam et coll.[7] ont défini l'IoV comme un IoT intégré aux STI du point de vue du transport intelligent. De plus, l'IoV est considéré comme l'ITS véhiculaire, qui considère le véhicule roulant comme l'objet mobile intelligent et de détection d'informations.

Hartenstein et coll.[8] considèrent que l'IoV est un réseau mondial qui intègre trois sous-réseaux: réseau intra-véhicule, réseau inter-véhicules et Internet mobile véhiculaire.

Jincheng et coll. [9] présentent la définition de l'IoV sous l'angle de l'intégration des capteurs embarqués et des technologies de communication. Ils considèrent l'IoV comme un ensemble de véhicules intelligents équipés de capteurs, contrôleurs, actionneurs et autres appareils avancés, qui utilisent des communications modernes et une technologie de réseau pour fournir aux véhicules des fonctions complexes de détection environnementale, de prise de décision et de contrôle.

On peut conclure qu'il existe des différences dans les définitions de l'loV lorsque les chercheurs fournissent leur définition en fonction de leurs propres domaines de recherche.

### 1.3 Architecture de communication d'loV

1.1. Le véhicule embarque divers capteurs afin de détecter l'état du véhicule et de la conduite, et des dispositifs de communication pour communiquer avec d'autres véhicules et/ou Internet [10]. Une plate-forme logicielle (un système d'exploitation de véhicule) est nécessaire pour traiter les informations d'état et contrôler tous les appareils.

On Board Unit (OBU): Il s'agit d'un équipement terminal monté à bord d'un véhicule pour fournir une communication sans fil mutuelle entre le véhicule et les véhicules voisines et les infrastructures environnantes. Il utilise la norme WAVE (Wireless Access in Vehicular Environment) qui est basée sur la nouvelle spécification IEEE 802.11p [10]. Il fonctionne sur la bande de communications directes à courte portée (DSRC) 5,9 GHz.

Road Side Unit (RSU) : Il s'agit d'un dispositif informatique installé en bordure de route qui fournit des services de communication aux véhicules. Comme OBU, le RSU utilise la norme WAVE qui est basée sur la spécification émergente IEEE 802.11p. Il fonctionne également sur la norme DSRC 5,9 GHz. Ils sont contrôlés et gérés par le Centre de contrôle des transports (TCC) via des canaux de communication filaires.

Il agit comme une passerelle qui permet aux véhicules d'établir une connexion avec Internet. Le RSU fournit différents services aux véhicules tels que : des services de communication, des services de sécurité, des services de diffusion et d'agrégation de données et l'accès à Internet. De plus, le RSU possède un certain nombre de fonctionnalités telles que : l'extension de la couverture du réseau, les annuaires de trafic, la diffusion des données, la gestion de la sécurité, les serveurs de localisation et les proxys de service [2].

loV prend en charge différents types de connexion qui sont :

- Communication ad hoc de véhicule à véhicule (V2V) : par ce type de communication, chaque véhicule peut contacter ses véhicules voisins sans passer par un support d'infrastructure fixe (communication directe) et peut être principalement utilisé pour des applications de sûreté, de sécurité et de diffusion [11].

- Communication ad hoc véhicule à unité routière (V2R): V2R fait référence aux informations échangées entre les véhicules et les unités routières telles que les feux de signalisation ou les panneaux d'avertissement sur les routes, où les unités routières sont utilisées comme serveurs de stockage de données. La communication V2R peut atteindre de longues distances contrairement à V2V. De plus, les unités en bordure de route peuvent jouer le rôle de sauts intermédiaires pour augmenter la distance de communication vers la destination [8].

- Communication ad hoc Véhicule à Infrastructure (V2I) : grâce à ce type de communication, les véhicules peuvent se connecter à Internet et bénéficier de plusieurs services Internet [10].

- Véhicule à appareils personnels (V2P) ou Véhicule à humain (V2H) fait référence à l'interaction entre les véhicules et les appareils personnels qui appartiennent aux personnes (conducteurs, passagers, piétons, cyclistes) comme les tablettes, les téléphones intelligents, etc.

Grâce à ce type de connexion, les véhicules peuvent partager avec des appareils mobiles différents services (partage de fichiers, musique, streaming vidéo) [12].

- Véhicule-capteur (V2S) ce type de communication est considéré comme permettant aux véhicules de surveiller leur comportement lors de leur déplacement en détectant leur vitesse, leur position, la pression des pneus, la pression d'huile[13], etc.

- Véhicule à tout (V2X) L'apparition de l'IoT permet aux véhicules de se connecter à tout ce qui peut partager des informations sur l'environnement du véhicule[14].

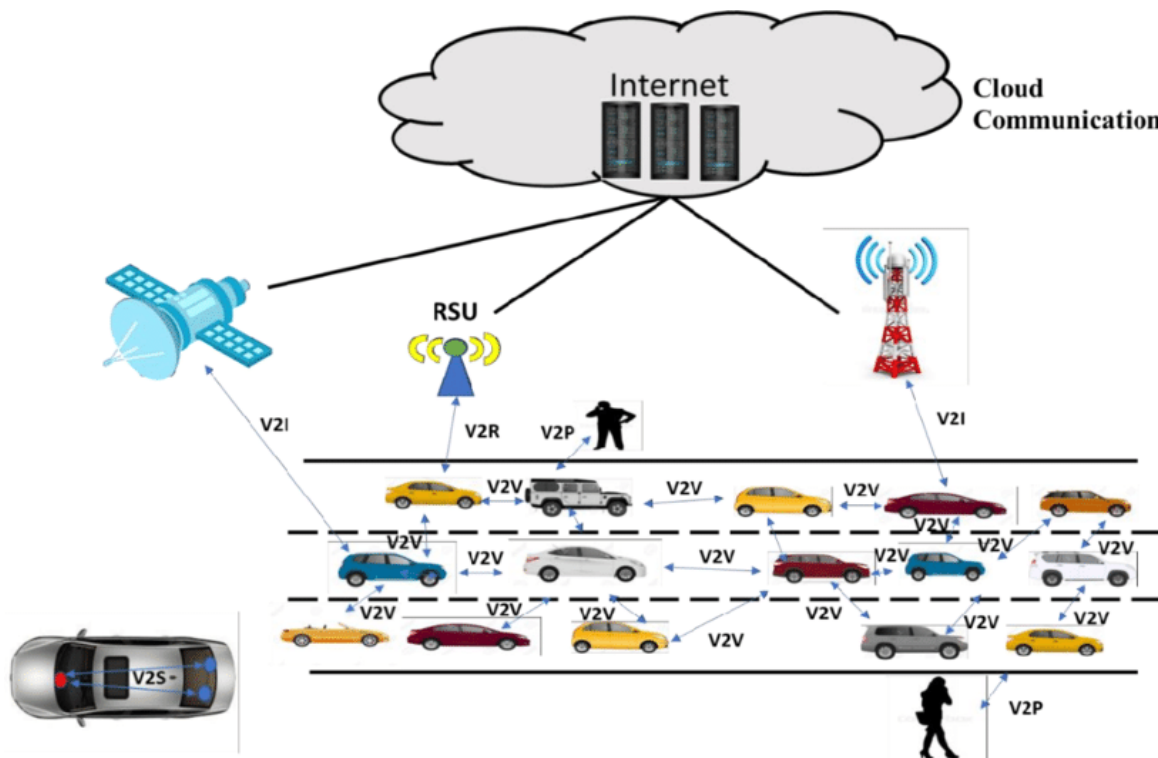


Figure 1.1 illustre la communication du réseau IoV

#### 1.4 Architecture en couches d'IoV

L'architecture du modèle IoV est basée sur cinq couches [14] qui permettent l'interconnexion de tous les composants du réseau et la diffusion des données dans un environnement IoV, comme le montre la figure 1.2.

- Couche d'interaction utilisateur : cette couche comprend les différents types de machines et d'appareils qui participent au processus de communication (capteurs attachés aux véhicules, RSU, infrastructures cellulaires, téléphones intelligents, etc.). L'objectif de cette couche est de collecter des données sur l'environnement et les périphériques du réseau des véhicules. Cette couche est également chargée de transformer les données de manière électromagnétique et sécurisée vers la couche de coordination

- Couche de coordination : La deuxième couche de l'architecture est représentée par les différents réseaux hétérogènes universels, notamment les réseaux WAVE, Wi-Fi, 4G/LTE et satellite. Cette couche est responsable du traitement des données où elle traite toutes les différentes données

reçues de tous les réseaux hétérogènes et les convertit en structure uniforme afin d'être connues et traitées dans chaque réseau candidat.

- Couche de traitement et d'analyse : Cette couche est le cœur d'IoV, elle est responsable du stockage, du traitement et de l'analyse des informations reçues de la couche précédente et de la prise de décision en fonction de ces analyses. Cette couche est connue sous le nom de centre de gestion des données (cloud computing) où différentes techniques de calcul, d'analyse et de sécurité sont utilisées.

- Couche d'application : la quatrième couche est constituée d'applications intelligentes, notamment : Applications de sécurité telles que : gestion des embouteillages, alerte d'accident, etc. Cette couche est chargée d'offrir aux utilisateurs finaux des services intelligents basés sur une analyse intelligente et élevée des données traitées provenant de la couche précédente. Il offre également à la couche métier les applications de données utilisées par les utilisateurs finaux du réseau.

- Couche métier : cette couche est chargée d'élaborer des stratégies pour développer de nouveaux modèles commerciaux basés sur les applications de données utilisées par les utilisateurs finaux du réseau et l'analyse statistique des données. Cette couche est également chargée de prendre des décisions liées à l'investissement économique et à l'utilisation des ressources.

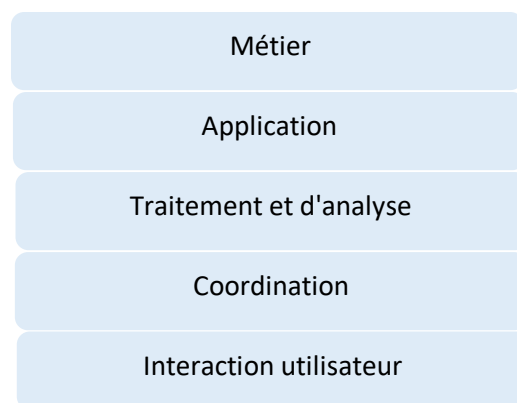


Figure.1.2 Architecture en couches d'IoV

## 1.5 Technologies de réseau

Les réseaux locaux sans fil (WLAN) sont une solution de connectivité utile pour différents réseaux et environnements ad hoc. IEEE 802.11p est conçu pour l'accès sans fil dans l'environnement des véhicules afin de prendre en charge les applications des systèmes de transport intelligents. L'accès sans fil dans un environnement véhiculaire est présenté par deux normes :

- Norme d'accès sans fil dans un environnement véhiculaire (WAVE) : inclut les fonctionnalités des communications dédiées à courte portée (DSRC), l'IEEE 802.11p pour les couches PHY et MAC et la famille IEEE 1609 pour les couches supérieures. DSRC utilise Dynamic Spectrum Access (DSA) comme technologie supplémentaire. Le DSA permet aux véhicules de communiquer via un spectre inutilisé pour différentes technologies de communication telles que le spectre TV [15]. DSRC/WAVE prend en charge la grande mobilité des véhicules, où les véhicules se déplacent à une

vitesse de 10 à 200 km/h, avec une portée de communication de 300 m et atteignant jusqu'à 1000 m et un débit de données de plus de 27 Mbps.

- CALM (Continuous Air interface for Long and Medium Range) : combine un ensemble de technologies sans fil incluant GSM2G/GPRS-2.5G, UMTS-3G, communication infrarouge et systèmes sans fil dans la bande 60 GHz, adaptés à IEEE 802.11p [16].

En plus des technologies de réseau citées ci-dessus, IoV prend en charge d'autres technologies de réseau différentes (Figure 1.3) telles que :

- Bluetooth : est une technologie sans fil à courte portée basée sur la norme IEEE 802.15.1 et fonctionnant en bande de fréquence (2,4 GHz). Il permet la communication entre les appareils mobiles à un débit de données jusqu'à 3 Mbps [17], Les appareils Bluetooth sont courants dans les automobiles actuelles, tels que le casque Bluetooth et le rétroviseur.

- ZigBee : est basé sur la norme IEEE 802.15.4 et fonctionne sur le spectre radio ISM (868 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz). La technologie ZigBee permet aux véhicules de se connecter avec ses dispositifs de capteurs internes (V2S) [18], ZigBee est peu coûteux et peut fournir un débit de données acceptable (250 Kbps dans la bande de fréquence de 2,4 GHz).

- Technologie 4G/LTE : il s'agit d'un système cellulaire qui utilise des ondes radio pour transmettre des données sur de longues distances. Il utilise les bandes de fréquences 1700 et 2100 MHz et prend en charge une vitesse de transfert de données jusqu'à 129 Mbps et une mobilité élevée grâce à un transfert en douceur et à une commutation transparente. Le LTE a été proposé comme une technologie pratique pour la communication machine à machine des véhicules[13].

- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) : c'est une norme de communication sans fil définie par une famille de normes IEEE 802.16 [12]. Il est principalement utilisé comme système d'accès et de transmission Internet haut débit à large bande. WiMAX couvre une large plage de transmission avec des communications robustes et une qualité de service (QoS) élevée, ce qui rend cette technologie adaptée aux applications multimédias.

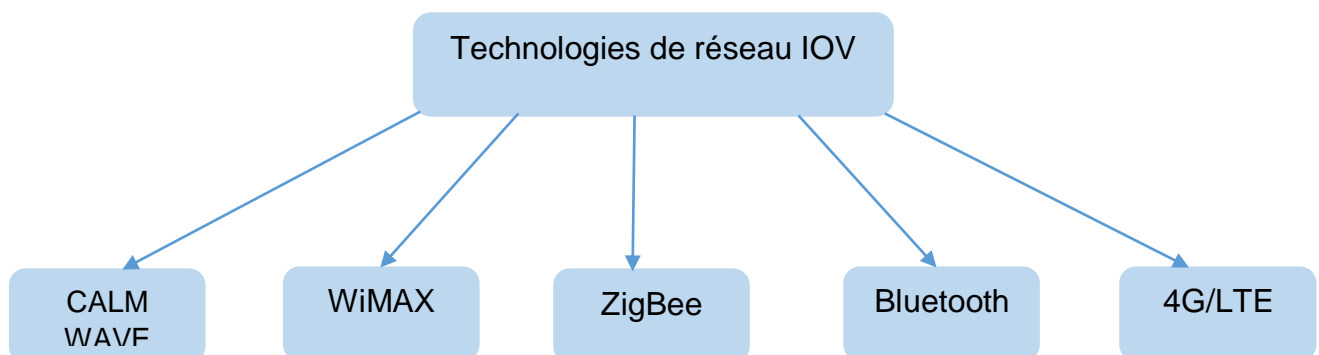


Fig.1.3 technologie de réseau IOV

## 1.6 Plate-forme réseau

Le système IoV donne aux véhicules la possibilité de jouer différents rôles en même temps, où ils bénéficient de plusieurs services via Internet en tant que consommateurs (clients) membres, et en même temps ils participent en tant que producteurs (serveurs) pour offrir différents services. Bien évidemment, IoV est un système mixte avec deux types de modèles informatiques qui sont : le système client-serveur et le système pair à pair (peer-2-peer). Avec le système client-serveur, les véhicules peuvent demander des services à des serveurs tels que : des infrastructures, des unités routières, des véhicules, etc.[19].

Un serveur peut être un simple nœud informatique ou une plateforme de données cloud. Avec le système peer-2-peer, les véhicules peuvent s'entraider pour exécuter des tâches informatiques distribuées, telles que le streaming de vidéos, le téléchargement de fichiers, etc.

Avec la plate-forme de données cloud, IoV peut exécuter diverses tâches difficiles et gérer différentes applications complexes avec une meilleure manière. L'objectif principal de l'utilisation de la plate-forme de données cloud dans IoV est d'améliorer le traitement des données routières en temps réel et d'appliquer l'intelligence artificielle pour prendre des décisions intelligentes pour les services clients intelligents. La plate-forme cloud IoV est divisée en trois couches [13] :

1) Services cloud de base : cette couche comprend tous les différents services cloud fournis aux applications de données intelligentes telles que les données, le stockage, la mise en réseau, l'informatique, la coopération et la passerelle.

2) Serveurs d'applications STI intelligents : IoV comprend divers types d'applications intelligentes tels que : des applications de sécurité routière, des applications de gestion des embouteillages, des applications de divertissement, etc. Les serveurs intelligents sont composés de deux moteurs de traitement : un moteur interne qui comprend : une unité de stockage Big Data, une unité de traitement Big Data et une unité d'analyse Big Data. Les services cloud de base offerts par la plateforme cloud sont utilisés pour mettre en œuvre ces tâches. Le moteur externe comprend deux types d'unités : l'unité de collecte d'informations qui est responsable de la collecte des données internes et l'unité de diffusion des informations qui est responsable de la distribution finale des services aux applications du client.

3) Consommateur et producteur d'informations : le réseau IoV prend en charge divers appareils intelligents qui sont l'utilisateur final des informations intelligentes offertes par les serveurs intelligents tels que : les véhicules, les unités routières, les appareils personnels, etc. Les principales responsabilités de ces appareils sont la collecte de données à partir de l'environnement réseau des véhicules. Développer de nouveaux modèles commerciaux pour les organisations liées à la production et à la réparation automobile. Le développement de services basés sur Internet est également l'un des principaux usages des données recueillies par les appareils intelligents.



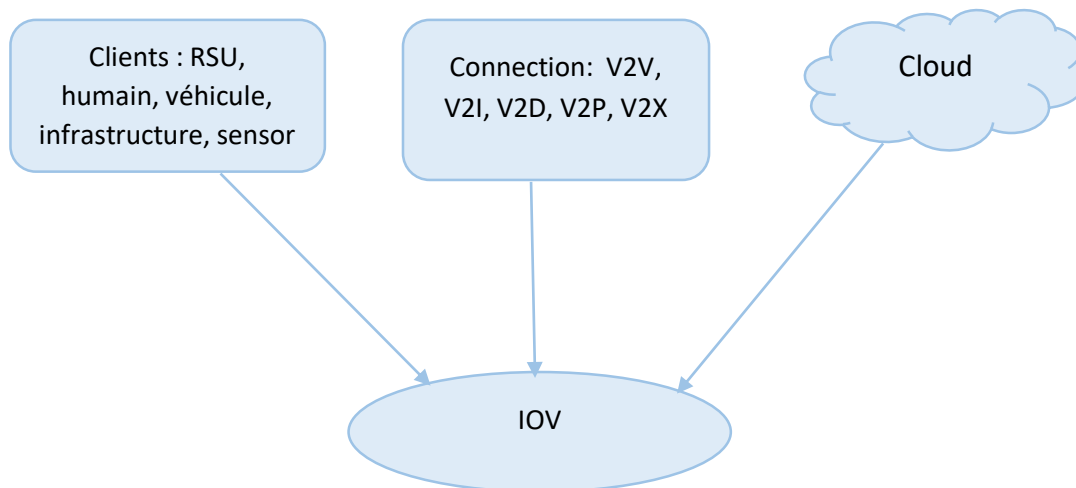


Figure 1.4 Plate-forme réseau

## 1.7 Les Applications d'IoV

Avec l'émergence de l'IoV, les précédentes applications existantes des VANETs ont été améliorées et diverses nouvelles applications ont également été conçues. Cette nouvelle structure fonde le réseau fondamental nécessaire à de nombreuses applications importantes qui exigent une connectivité et une adressabilité fluides entre leurs éléments. Cependant, le total de ces applications peut être divisé en deux grandes catégories; applications orientées sécurité et applications orientées utilisateur.

### 1- Applications orientées sécurité:

La sécurité, la gestion de la sécurité du trafic et la gestion liée aux applications ITS sont globalement divisées en quatre groupes comprenant la sécurité, la navigation, le diagnostic et la télématique à distance [20].

#### • La sécurité

Les applications STI liées à la sécurité routière sont des applications basées sur la communication V2V. L'exécution et la qualité des processus pourraient être considérablement améliorées en intégrant des serveurs intelligents basés sur le cloud[19]. Les serveurs utilisent de grandes données de trafic pour prendre des décisions intelligentes dans IoV. Ces applications améliorent les performances du conducteur et la qualité de conduite. Les applications intègrent des automatismes sur roues, et minimisent ainsi les efforts nécessaires à une conduite qualitative. Certaines des applications de sécurité routière sont présentées ci-dessous :

-Prévention des accidents - Il s'agit d'un système de connexion V2V pour les véhicules. Il utilise des informations en temps réel échangées entre les véhicules pour prévenir les accidents. Il fournit différents processus automatiques, notamment le contrôle de la vitesse, le changement de voie, l'arrêt, le contrôle de la direction, etc. Le système serait très utile pour les environnements routiers et urbains denses, où le contrôle automatique des véhicules a un impact important sur la sécurité en cas de situations d'urgence[21].

-Appel d'urgence - Il s'agit d'un système d'appel d'urgence pour les véhicules. Il appelle les services d'urgence tels que la police, les pompiers et la famille ou les amis en cas d'urgence. C'est un

système à la fois automatique et manuel. Elle peut être considérée comme une information boîte noire du véhicule, elle contient toutes les informations liées aux situations présentes et passées du véhicule. Les informations comprennent le nombre de passagers, la vitesse, la direction, l'emplacement, la voie, la cause de l'urgence, etc.[11].

- La navigation

Les applications STI liées à la navigation sont des services basés sur la localisation. L'exécution de ces applications repose principalement sur la précision des informations de localisation. Les informations sont obtenues à partir du récepteur GPS intégré dans les véhicules. Ces applications sont utiles pour gérer le trafic et améliorent ainsi l'efficacité du trafic. Certaines de ces applications sont présentées ci-dessous :

- Informations sur le trafic en temps réel - Il s'agit d'un système d'informations sur le trafic. Il offre des informations routières en direct à l'aide de capteurs vidéo de véhicules et de réseaux de communication hétérogènes. Cela pourrait remplacer efficacement les systèmes actuels d'analyse d'images et d'information sur le trafic basés sur la diffusion radio. Le système est basé sur une diffusion en ligne efficace d'informations sur le trafic à l'aide de réseaux de véhicules hétérogènes [22].

- Aide au stationnement - Il s'agit d'un système de stationnement pour les véhicules. Il aide les conducteurs à trouver la place de stationnement disponible la plus proche en communiquant avec les véhicules garés. Le système utilise un récepteur GPS et des techniques de positionnement coopératif. Le système minimiserait le gaspillage d'énergie et de temps dans la recherche d'un espace de stationnement, en particulier dans un environnement de trafic urbain dense [23].

- Transport multimodal - C'est un système de transport pour les personnes. Il valorise les ressources dont le temps, l'argent, le confort, le carburant, le divertissement, etc., selon le choix des utilisateurs. Il offre un service de planification d'itinéraire incluant de multiples moyens de transport et optimisant la priorité des utilisateurs.

- Le Diagnostic

Les applications de diagnostic de véhicule sont considérées comme un conseiller en santé personnel pour les véhicules [10]. En plus de la surveillance en temps réel de l'état total des véhicules, la gestion des données sur le cloud de l'état des véhicules est l'une des tâches clés de ces applications. Les données de diagnostic basées sur le cloud sont utilisées pour la prédiction en ligne et les conseils d'entretien pour les véhicules.

L'un des clients de diagnostic est décrit ci-dessous :

- Autoréparation - Il s'agit d'un système de guidage de réparation étape par étape basé sur le cloud. Le système est basé sur une base de données basée sur le cloud. Il est principalement utile pour résoudre les problèmes matériels/logiciels du véhicule. La base de données se développe automatiquement avec les progrès de la technologie. Le guidage est disponible pour tous les types de véhicules grâce aux technologies audio et vidéo. Le système réduirait considérablement le montant d'argent dépensé en réparation.

- Télématique à distance

L'accès à distance à certains processus de non-conduite des véhicules pourrait être rendu possible en utilisant des applications télématiques à distance très sécurisées. Les applications reposent sur des méthodes précises de suivi à distance, d'authentification et d'autorisation. Ces applications sont en fait la transformation des processus traditionnels basés sur des entités physiques en opérations basées sur des entités numériques. Les applications améliorent la facilité d'utilisation et la surveillance des véhicules. Certains des exemples de cette catégorie incluent le verrouillage/déverrouillage à distance et la surveillance automobile.

## 2- Applications orientées utilisateur

Les applications ITS orientées utilisateur pour IoV peuvent être largement divisées en quatre catégories telles que l'assurance, l'auto-partage, l'infodivertissement et d'autres applications.

- L'assurance

Les applications STI basées sur l'assurance sont basées sur une analyse statistique d'informations, y compris l'utilisation des véhicules, le comportement de conduite, le lieu d'utilisation et la durée d'utilisation. Ces applications réduiraient les coûts d'assurance, et ainsi, optimiseraient le coût de possession du véhicule.

L'une des applications basées sur l'assurance est présentée ci-dessous :

- Assurance sur les statistiques de conduite - Il s'agit d'un système d'assurance qui calcule automatiquement les frais d'assurance à l'aide des données des statistiques de conduite. Les données contiennent la durée de conduite quotidienne, mensuelle ou annuelle, elles incluent également les infractions quotidiennes/mensuelles/annuelles aux règles de circulation ou la manière dont vous conduisez. Le système repose sur les statistiques d'utilisation des véhicules basées sur le cloud. Le système pourrait optimiser considérablement le coût de l'assurance [13].

- Partage de voiture

L'objectif des applications d'auto-partage est d'améliorer l'utilisation des ressources tout en utilisant les voitures, ce qui minimise les coûts de transport. Cet objectif peut être atteint en utilisant un véhicule en groupe, l'une de ces applications est présentée ci-dessous.

- Covoiturage : Il s'agit d'une application de partage de voiture basée sur une plate-forme cloud. Il attribue les demandeurs de services automobiles au propriétaire de la voiture. L'attribution est basée sur l'optimisation de critères similaires de passagers. Les critères comprennent l'adresse locale, le lieu de travail, le moment, le sexe, l'âge et le poste. L'enregistrement des propriétaires de voitures et des demandeurs de services automobiles est vérifié par le prestataire de services [8].

- Infodivertissement

Les applications d'infodivertissement reposent sur une connectivité Internet fiable. L'application améliorerait la productivité et l'expérience de voyage en étant en ligne tout en conduisant. L'une des applications d'infodivertissement est présentée ci-dessous :

- Conduite connectée : Le système améliorerait la productivité de la durée de conduite tout en évitant les accidents mortels sur la route en utilisant des applications d'assistance automatique

pour les conducteurs en IoV. Le système est considéré comme un système de synchronisation d'appareils pour les véhicules, où il permet aux unités d'affichage des véhicules de se connecter à des ordinateurs personnels, des smartphones ou d'autres équipements en ligne. Le système utilise la connexion à distance dans divers types d'appareils en ligne avec des informations d'identification de sécurité [5].

- Autres

Il existe quelques autres applications qui n'appartiennent pas aux catégories précitées. Ces applications sont basées sur divers concepts et technologies d'affaires. L'une des applications de cette catégorie est présentée ci-dessous :

-Service Cloud- Dans le système cloud, les véhicules ont deux options pour communiquer sur la base de la communication cloud : soit ils forment leur cloud autonome de groupe de véhicules, soit ils se connectent au cloud traditionnel. Dans les deux cas, les ressources des véhicules connectés sont disponibles pour une utilisation en tant que service cloud et les véhicules peuvent utiliser des services cloud intelligents. Le système cloud peut supprimer les limitations de calcul et de stockage sur les véhicules. Il pourrait ouvrir de nouveaux modèles économiques dans le lecteur connecté [9].

## 1.8 Caractéristiques et défis des IoV

Les réseaux IoV ont de nombreuses caractéristiques par rapport à d'autres types de réseaux. Comme IoV est considéré comme le progrès des VANET traditionnels, diverses fonctionnalités des IoV sont similaires aux fonctionnalités des VANET, telles que la topologie dynamique, la densité de réseau différente, la mobilité élevée des véhicules et les obstacles du réseau. De plus, les réseaux IoV prennent en charge d'autres caractéristiques telles que :

- Évolutivité : les réseaux IoV peuvent intégrer des centaines voire des milliers de véhicules connectés par rapport aux VANET classiques. De plus, en fonction de l'application utilisée, IoV peut encore augmenter le nombre d'appareils connectés à des millions.

- Différentes technologies d'accès sans fil : la plate-forme IoV prend en charge de nombreux types de technologies d'accès sans fil telles que les WLAN, WiMAX, les communications cellulaires sans fil et par satellite[15].

- Communication réseau étendue : IoV crée plus de types de communication par rapport au VANET conventionnel, qui se caractérise par ses types de communication limités, IoV permet au véhicule de communiquer avec chaque objet intelligent tel qu'un smartphone, une tablette, etc.

- Cloud Computing : Par rapport à VANET, les opérations dans IoV sont principalement basées sur des services de cloud computing.

En raison de la forte interaction des composants du réseau tels que les utilisateurs, les véhicules et les objets, le réseau IoV est nécessaire pour fournir la meilleure capacité de communication qui soit gérable, contrôlable, opérationnelle et crédible [13]. IoV fait face à de nombreux défis qui doivent être étudiés afin de fournir plus de fiabilité, de robustesse et de stabilité de communication.

- Tolérance aux pannes : l'architecture IoV étant basée sur les communications cloud, certains véhicules peuvent tomber en panne ; ainsi, cet échec ne devrait pas affecter le reste du réseau.

- Latence : elle est définie comme la durée de transmission d'un paquet dans le réseau, dans certaines applications critiques comme l'alerte accident, la latence doit être minimisée au maximum afin de garantir un transfert rapide des messages.

- Compatibilité des réseaux : les différents types de technologies d'accès prises en charge par IoV obligent les chercheurs à prendre en considération ces technologies d'accès multiples lors de la conception d'applications et de protocoles pour IoV.

- Sécurité : Les informations échangées via le réseau IoV sont très importantes et confidentielles notamment avec l'accès à Internet. Par conséquent, l'opération de sécurisation de ces réseaux est une tâche fondamentale et un préalable au déploiement de l'IoV[16].

- Connectivité : La vitesse élevée des véhicules en mouvement peut entraîner des changements fréquents dans la topologie du réseau. Par conséquent, un taux élevé d'arrivée et de départ des nœuds peut être affecté. Faire face à une telle limitation draine une surcharge de communication importante. Ainsi, les nœuds doivent fréquemment choisir un itinéraire fiable afin d'assurer la livraison des données vers des destinations spécifiques. Les véhicules doivent être connectés en permanence.

- Qualité de service (QoS) : IoV est considéré comme un système distribué en temps réel qui doit satisfaire des contraintes de temps, de fiabilité et de sécurité ainsi que des exigences de qualité spécifiques à l'application pour gérer la planification des services intégrés en temps réel[23]. Pour résoudre ce problème diversifié, les exigences de QoS doivent gérer les ressources du réseau pour garantir la QoS dans IoV. Le système IoV le plus robuste offre une meilleure QoS.

## 1.9 Simulations et modèles de mobilité pour IoV

La simulation de réseau est la méthode la plus utile utilisée pour évaluer théoriquement les performances des réseaux avant leur déploiement physique. En fait, le simulateur de réseau doit prendre en compte toutes les caractéristiques spécifiques des véhicules en mouvement, c'est-à-dire le modèle de mobilité des nœuds afin d'imiter l'environnement IoV réel. Dans IoV, le mouvement des véhicules est limité aux routes et à l'interaction avec d'autres véhicules (accélération, décélération et changement de voie). Ainsi, l'utilisation de modèles aléatoires où le changement de vitesse et de position des nœuds est aléatoire, ne donne pas une évaluation réelle des protocoles conçus pour les environnements véhiculaires. Par conséquent, la simulation des réseaux IoV devrait être effectuée par des simulateurs spécialement conçus pour les VANET. Les modèles de simulation de trafic sont classés en modélisation de mobilité microscopique, mésoscopique et macroscopique.

La modélisation de la mobilité microscopique considère le flux du véhicule en détail, comme l'accélération / la décélération, le comportement du conducteur, la longueur de la voiture, la vitesse de la voiture. Les propriétés macroscopiques sont de nature générale. Lorsqu'un grand nombre de véhicules est en mouvement, les paramètres globaux peuvent être représentés sous forme de flux (masse et densité). La modélisation mésoscopique représente un niveau de modélisation intermédiaire du flux de trafic. Cela peut conduire à un compromis efficace entre la modélisation de véhicules individuels et la modélisation de grandes quantités de véhicules.

Ce modèle peut prendre différentes formes telles que la modélisation de la distance intermédiaire en tant que moyenne d'un grand nombre de véhicules, parfois de la taille ou de la densité d'un groupe de véhicules. Ce modèle inclut le comportement dynamique du véhicule et des propriétés

macroscopiques telles que la densité et la vitesse pour un grand nombre de véhicules. Parmi le générateur de mobilité dans les VANET, nous avons : VanetMobiSim, SUMO et RoadSim.

Les modèles de mobilité fournissent une description précise de la mobilité des véhicules dans le réseau. Selon la littérature disponible, il existe de nombreux modèles de mobilité, largement utilisés pour les réseaux IoV. Par rapport aux réseaux VANET conventionnels, les véhicules IoV sont beaucoup plus restrictifs en termes de trafic sur le réseau et nécessitent plus d'applications et de services de trafic.

Ces scénarios ne peuvent donc pas être gérés par des solutions de mise en réseau classiques. Ces générateurs de mobilité, appelés aussi simulateurs de trafic véhiculaire, reposent sur une théorie des flux de trafic. Par exemple, Simulation of Urban MObility "SUMO" [24] est une simulation de trafic open source, microscopique et multimodale.

La simulation permet d'aborder un large éventail de sujets de gestion du trafic, où elle permet de simuler comment une demande de trafic donnée composée de véhicules uniques se déplace sur un réseau routier donné. Il est purement microscopique : chaque véhicule est modélisé explicitement, où se trouve son propre itinéraire, et se déplace individuellement à travers le réseau. MOVE [25] est construite sur un simulateur de micro-traffic open source SUMO. Il permet aux utilisateurs de générer rapidement des modèles de mobilité réalistes pour les simulations VANET. La sortie de MOVE est un modèle de mobilité réaliste et peut être immédiatement utilisé par les simulateurs de réseau populaires tels que NS3, NS2, OMNET, etc.

## 1.10 Conclusion

IoV est l'un des domaines émergents qui suscitent un intérêt croissant de la part des universités et des secteurs industriels au cours des dernières années. Cela est dû au rôle très important que joue l'IoV dans l'augmentation fondamentale de la sécurité des systèmes de transport intelligents (STI). Le paradigme IoV prend en charge de nombreux types de communication tels que véhicule-à-tout (V2X), véhicule-à-humain (V2H), véhicule-à-capteurs (V2S) en plus des types de communication classiques hérités des communications conventionnelles VANETs (V2V, V2I et V2R).

Dans ce chapitre, nous avons présenté un aperçu de la technologie IoV émergente et une perspective pour leurs applications futures. Dans l'introduction, nous avons présenté le développement de VANET vers le nouveau paradigme IoV. Ensuite, les définitions connexes d'IoV, du protocole IoV, de la plate-forme IoV, des technologies de réseau IoV et des applications IoV sont présentées. Étant donné que leurs caractéristiques particulières créent de nouveaux défis et exigences, nous discutons en général des problèmes de l'IoV. Enfin, des simulations et des modèles de mobilité pour les réseaux IoV sont présentés.



\*\*\*\*\*

---

## *Chapitre 2*

---

État de l'art :

Protocoles de routage dans les VANET



## 2.1 Introduction

L'apparition de la nouvelle ère de l'Internet des objets a conduit à l'évolution des réseaux ad hoc de véhicules (VANET) vers un nouveau paradigme nommé Internet des véhicules (IoV). La différence du concept de véhicule dans VANET et IoV rend ces deux paradigmes différents en termes d'appareils, de communications, de services et d'applications. Dans VANET, le véhicule est considéré comme un objet mobile intelligent utilisé pour transmettre des messages entre les véhicules et les infrastructures. Cependant, chaque véhicule dans IoV est considéré comme un objet intelligent doté d'un puissant système multi-capteurs. De plus, un véhicule dans IoV est perçu comme un système de communication mobile dynamique, qui permet les modes de communication suivants : mode composants intra-véhicule et mode véhicule-à-X, où X peut être véhicule, route, infrastructure, humain ou Internet. Par conséquent, IoV permet l'acquisition et le traitement d'une grande quantité de données (big data) provenant de différentes zones géographiques via des véhicules intelligents pour offrir divers services aux conducteurs et aux passagers [26].

L'environnement IoV se caractérise par des fonctionnalités spéciales, qui rendent la conception et la mise en œuvre d'applications robustes pour un tel réseau. La grande mobilité des véhicules est le premier facteur qui distingue le réseau IoV des autres types de réseaux ad-hoc et sans fil. La vitesse des véhicules évolue en fonction des conditions routières, elle peut être faible ou moyenne en zone urbaine et élevée sur les autoroutes. La variation de vitesse peut affecter la stabilité du réseau et rend la topologie du réseau très dynamique. La grande mobilité des nœuds peut provoquer des déconnexions fréquentes dans les liens de communications ce qui provoque un arrêt temporaire du service fourni par l'application du réseau. Il est donc nécessaire d'assurer et de fournir une Qualité de Service élevée, même en présence de ruptures de liaisons de communication, pour assurer le service requis. La densité de nœuds dans le réseau IoV n'est pas stable pendant les variations de temps et de zone. Où, la densité en milieu urbain est plus élevée qu'en milieu rural, et l'heure de la journée considérée est différente (nuit, matin et heures de pointe) [6].

Compte tenu de toutes les questions ci-dessus, les chercheurs se sont tournés vers l'utilisation de nouvelles techniques et mécanismes afin de garantir une certaine qualité de service, à son tour assurant une connectivité réseau stable et un routage et une diffusion efficaces des données dans le réseau. Les algorithmes de routage jouent un rôle central dans les réseaux d'aujourd'hui, et avec l'augmentation exponentielle de la densité du réseau et des systèmes et applications distribués, il est évident que la gestion et le routage du trafic réseau sont les problèmes centraux[27]. Le travail central de l'algorithme de routage est de générer un chemin pour les paquets réseau. Le protocole de routage donne une vue d'ensemble de la topologie de l'ensemble du réseau tandis que l'algorithme de routage ajoute la puissance de l'intelligence à la façon dont on calcule le chemin entre plusieurs nœuds du réseau. Conduire des paquets du nœud source au nœud de destination dans un réseau de manière efficace assurera une connectivité réseau stable et une communication robuste. Un grand nombre de protocoles de routage ont été proposés pour IoV et l'objectif principal de ces protocoles de routage est de fournir le meilleur chemin à travers les communications sans fil multi-sauts.

Un certain nombre de propriétés relatives aux algorithmes de routage doivent être prises en considération afin de parvenir à une solution au problème de routage :

- Correction : la propriété stipule qu'un algorithme doit être capable de s'adapter à la variation topologique et aux conditions problématiques du réseau [28]. L'algorithme doit également être capable de trouver le chemin optimal en toutes circonstances pour le réseau.

- **Simplicité** : la propriété indique qu'un algorithme doit être simple, efficace et facile à mettre en œuvre.
- **Robustesse** : Il est crucial que le réseau ait la capacité de fonctionner dans une situation telle que la défaillance d'un nœud, la congestion du chemin, etc.
- **Stabilité** : la propriété indique qu'après des exécutions spécifiées de la fenêtre temporelle, un algorithme doit être dans une position stable.
- **Équité** : la propriété indique que pour la livraison d'un paquet, le calendrier de livraison du paquet doit être respecté.
- **Optimalité** : la propriété indique qu'un chemin optimal doit être trouvé d'une source à la destination. Le chemin optimal dépend du paramètre de réseau. Il n'est pas obligatoire qu'un chemin optimal soit toujours le chemin le plus court, par exemple un chemin le plus long peut être considéré comme un chemin optimal en raison d'un délai de mémoire tampon moindre par exemple.
- **Évolutivité** : la propriété indique qu'un algorithme doit être capable de s'améliorer et d'offrir ses meilleures performances à mesure que les ressources du réseau s'étendent et que le trafic augmente.

Dans ce chapitre, nous fournissons la littérature la plus représentative dans le domaine du routage des véhicules et présentons en détail les différents protocoles classés en fonction de leurs concepts de base, à savoir basés sur la topologie, la géographie, la QoS, le transfert de paquets et les clusters. Ensuite, nous classons les protocoles de routage et nous mettons en évidence les limitations communes à chaque type de communication.

## 2.2 Classification des protocoles de routages

### 2.2.1 Protocoles de routage basés sur la topologie

Les protocoles de routage basés sur la topologie [29], ce type de protocoles de routage tirent généralement parti des informations de lien disponibles stockées dans la table de routage du nœud pour envoyer des paquets de la source à la destination. Le protocole de routage AOMDV (Ad hoc On-demand Multi-path Distance Vector) [30] est un protocole multi-chemins à la demande qui est une amélioration du protocole de routage AODV [31]. AOMDV utilise les mêmes messages de contrôle que ceux utilisés dans AODV pour maintenir la connectivité réseau. De plus, AOMDV ajoute des champs supplémentaires pour minimiser la surcharge apparaissant lors du processus de découverte de plusieurs chemins, dans lequel AOMDV enregistre tous les chemins disponibles dans la table de routage, puis la source sélectionne le premier itinéraire créé comme favori. Par rapport aux protocoles de routage basés sur un seul chemin, les performances d'AOMDV sont meilleures pour minimiser la retransmission de découverte de route, améliorer la robustesse et réduire le délai de transmission.

R-AOMDV [32] est une extension du protocole de routage AOMDV. Dans le protocole de routage R-AOMDV, un nœud source envoie un paquet de demande de route lorsqu'il n'a pas de route disponible vers la destination. R-AOMDV est similaire à AOMDV en termes de

processus de découverte de route basé sur les paquets de contrôle de demande de route et de réponse de route. R-AOMDV est un protocole de routage inter-couches, dans lequel il ajoute deux champs pour router le message de relecture (nombre maximum de retransmission au niveau de la couche MAC et nombre total de sauts au niveau de la couche réseau) afin de calculer la qualité de l'ensemble du chemin. Le protocole R-AOMDV offre tous les avantages des protocoles de routage multi-chemins, tels que la minimisation de la découverte de routes de rediffusion et l'amélioration de la robustesse du réseau. De plus, R-AOMDV introduit de bonnes performances par rapport à AOMDV dans les réseaux de véhicules ruraux et urbains [33], et améliore les processus de routage basés sur la qualité des itinéraires.

Cependant, les protocoles de routage basés sur les adresses IP ne conviennent pas aux VANET car ils doivent envoyer les paquets aux adresses IP des nœuds même s'ils changent d'emplacement, et dans cette situation, le nœud expéditeur doit rechercher un nouveau nœud de transfert intermédiaire, ce qui peut conduire pour augmenter le délai et la perte de paquets.

ZRP (Zone Routing Protocol) [34],[35] est un protocole de routage hybride, son concept se concentre sur la division du réseau en plusieurs zones en fonction de nombreux facteurs, à savoir la puissance de transmission, la force du signal, la vitesse, etc. ZRP tire parti des schémas de routage réactif et proactif pour la zone extérieure et intérieure, respectivement. D'une part, cela réduit l'étendue du processus proactif uniquement au voisinage local du nœud. Comme nous le verrons, les informations de routage local sont généralement référencées dans la procédure de ZRP, diminuant les déchets liés aux schémas purement proactifs. D'autre part, la recherche sur l'ensemble du réseau peut être effectuée efficacement en interrogeant de manière réactive les nœuds sélectionnés dans le réseau par rapport à l'interrogation de tous les nœuds du réseau.

TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm) [36] est un protocole de routage distribué utilisant des routes multi-sauts. TORA est conçu pour minimiser la surcharge de communication causée par les messages envoyés utilisés pour mettre à jour les changements fréquents du réseau. TORA crée un graphe orienté qui considère le nœud source comme la racine de l'arbre. Une fois qu'un nœud expéditeur diffuse un paquet vers une destination particulière, les paquets doivent être envoyés des nœuds supérieurs vers les nœuds inférieurs de l'arbre, les nœuds voisins doivent diffuser une réponse de route pour vérifier s'ils ont un lien descendant vers la destination, sinon, ils déposent juste le paquet. TORA garantit un routage sans boucle multi-chemins puisque le paquet passe toujours vers le bas jusqu'à la destination et ne remonte pas vers le nœud source. L'avantage majeur de TORA est qu'il offre une route vers chaque nœud du réseau et diminue la diffusion des messages de contrôle. Cependant, cela entraîne une surcharge de routage dans le maintien des routes vers tous les nœuds du réseau, en particulier dans les réseaux hautement dynamiques, tels que les VANET et l'ioV.

## 2.2.2 Protocoles de routage géographique

Les protocoles de routage géographique sont basés sur les informations géographiques des nœuds du réseau, où la source envoie un paquet à la destination en utilisant ses informations de position plutôt que d'utiliser son adresse réseau [29]. Les protocoles de cette catégorie nécessitent que chaque nœud puisse récupérer sa localisation et la localisation de ses voisins à l'aide d'un service de localisation tel que le GPS (Geographic Position System). Lorsque le nœud source veut envoyer un paquet, il insère généralement la position de la destination dans l'en-tête du paquet qui aidera à transmettre le paquet à la destination sans processus de découverte et de maintenance de route. Par conséquent, les protocoles de routage basés sur la géographie sont considérés comme plus stables et adaptés aux réseaux à grande échelle tels que les VANET et l'loV, par rapport aux protocoles de routage basés sur la topologie.

GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [37] est un protocole de routage géographique de référence, il utilise deux mécanismes de routage pour transférer les paquets de données afin d'atteindre leur destination, y compris le transfert glouton et le transfert de périmètre. L'algorithme de renvoi glouton est utilisé si le véhicule de renvoi a un voisin dont l'emplacement est le plus proche de la destination. Alors que le véhicule d'expédition actuel est le plus proche pour atteindre sa destination, le GPSR passe à l'expédition de périmètre en appliquant la règle de la main droite afin de sélectionner le prochain saut. Le principal avantage du GPSR réside dans la récupération des informations géographiques de ses voisins via des paquets Hello. Un véhicule d'expédition choisit le nœud suivant en fonction de l'optimum local qui est géographiquement le plus proche de la destination. Cependant, la stratégie de récupération du GPSR est inefficace en termes de consommation de temps surtout dans les environnements réseau très dynamiques.

De plus, le GPSR est plus adapté aux environnements de réseau ouverts avec une répartition uniforme des nœuds, mais il souffre de la présence d'obstacles. Lorsqu'il a été appliqué en environnement urbain, il montre des performances médiocres [38],[39] l'établissement d'une communication directe entre deux nœuds avec GPSR est difficile en présence d'obstacles tels que des bâtiments et des arbres.

### 2.2.2.1 Les protocoles de routage géographique pour l'environnement autoroutier

- Directional Greedy Routing (DGR) Dans [44], les auteurs proposent un protocole nommé DGR qui est un protocole de routage non DTN basé sur la position unicast. DGR est conçu pour les environnements routiers, par conséquent, contrairement à l'environnement urbain, il ne nécessite pas de sélection de jonction et de point d'ancrage. DGR est un protocole de routage de véhicule à véhicule. Pour obtenir les informations de localisation de la destination, il faut des cartes statiques et des services de localisation. De plus, DGR suppose que les véhicules sont conscients de leur vitesse et des informations directionnelles. DGR utilise un transfert glouton directionnel pour envoyer les paquets vers la destination. Dans le cas où un nœud source souhaite envoyer un paquet à un nœud de destination, l'algorithme DGR sélectionne un nœud qui est le plus proche de la destination et se déplace dans la même direction. De plus, si le détenteur du paquet n'a pas le véhicule dans la direction de la destination, il applique le mode de récupération report et attend pendant une certaine durée spécifiée comme seuil et essaie de trouver le prochain véhicule se déplaçant dans la direction

de la destination. Le schéma de routage glouton directionnel vise à réduire les boucles de routage dans le processus de transfert. Cependant, cela peut causer plus de sauts et de retard.

- Predictive Directional Greedy Routing (PDGR) [44] est un protocole de routage de superposition non DTN basé sur la position unicast. Il s'agit d'un protocole véhicule-à-véhicule qui est proposé pour l'environnement routier. L'algorithme PDGR est capable de transmettre le paquet au prochain saut le plus approprié en fonction des situations actuelles et futures prévisibles. Il dispose également de cartes numériques statiques et d'un GPS (ou DGPS) installé pour obtenir sa position géographique précise. PDGR applique la stratégie Direction First Forwarding (DFF) et la stratégie Position First Forwarding (PFF). Par conséquent, le score pondéré est calculé à partir de ces deux stratégies. Le score pondéré est estimé pour le nœud source et ses voisins actuels et potentiels. Lorsqu'un nœud source souhaite envoyer des paquets vers une destination, l'emplacement de destination est connu à l'avance. Chaque véhicule a la connaissance de sa propre vitesse et de sa propre direction. Les nœuds envoient un message de balise en continu avec un intervalle de balisage fixe. Ainsi, chaque nœud du réseau construit sa propre table de routage. Dans la table de routage ; les informations de position, la direction du mouvement et l'ID de tous les voisins à un saut sont conservés. PDGR prend en compte à la fois la position et la direction lors du choix du prochain saut. Le prochain saut est sélectionné en calculant le score pondéré des deux métriques. De plus, une approche de prédiction est appliquée en considérant que les futurs voisins possibles du transporteur de paquets rendent le routage plus efficace dans PDGR. De plus, si le paquet atteint void, c'est-à-dire que le détenteur du paquet n'a pas de véhicule dans la direction de la destination, il applique alors le mode de récupération carry and forward jusqu'à ce qu'il découvre le prochain véhicule se déplaçant dans la direction de la destination. Le principal inconvénient de PDGR est le problème de déconnexion du réseau si le nœud prédit est sélectionné comme prochain nœud de relais qu'il peut devenir hors de portée de l'expéditeur.
- Directional Greedy routing protocol (DGRP) [45] est un protocole de routage basé sur la position unicast. DGRP utilise les deux stratégies d'expédition gourmande et périmétrique. De plus, l'algorithme DGRP dépend du protocole DGR avec plus d'améliorations. DGRP prédit la position des nœuds voisins du véhicule pendant l'intervalle de balise. Pour prédire les nouvelles positions, l'algorithme DGRP utilise les informations de vitesse et de direction des voisins fournies dans les paquets de balise. Un nœud source qui a un paquet de données à transmettre prédit la position des nœuds de ses voisins dans l'intervalle de balise. Ensuite, il sélectionne le prochain nœud de transfert le plus approprié. Le processus de sélection est basé sur les voisins les plus proches de la destination ou du prochain nœud intermédiaire. Les principaux inconvénients du DGRP : chaque nœud doit calculer la vitesse et la direction du mouvement, chaque nœud de transfert doit prédire la position de tous ses voisins, et la précision de la méthode de prédiction de position dépend de la fréquence de changement de vitesse et de direction. De tels inconvénients entraînent un retard plus important qui affecte les performances globales du DGRP.

- Reliable Directional Greedy Routing (RDGR) [101] est un protocole de routage fiable basé sur la position unicast. De plus, l'algorithme RDGR dépend du protocole DGR avec plus d'améliorations pour augmenter sa fiabilité. L'approche RDGR obtient des informations de position et de mouvement de ses nœuds voisins à partir du GPS. L'algorithme RDGR utilise des informations sur la position, la vitesse, la direction du mouvement des véhicules, c'est-à-dire les informations sur les mouvements, pour prédire la stabilité des liaisons de leurs voisins. L'algorithme RDGR calcule la stabilité de la liaison entre les nœuds voisins de manière distribuée pour une transmission fiable des paquets de données. L'expéditeur du paquet utilise la stabilité de la liaison du voisin pour sélectionner le prochain nœud de transfert le plus approprié. Il utilise des métriques combinées de distance, de vitesse, de direction et de stabilité de liaison pour décider à quel voisin le paquet donné doit être transmis. L'algorithme RDGR intègre une stratégie potentielle basée sur le score, qui réduit les ruptures de liaison, améliore la fiabilité de la route et améliore le taux de livraison des paquets.

### 2.2.2.2 Les protocoles de routage géographique pour l'environnement Urban

- GPCR (Greedy Perimeter Coordinator Routing) [38] est proposé pour aborder le problème de planarisation dans GPSR en considérant les rues urbaines comme un graphe planaire. Ici, chaque segment de route est considéré comme une arête du graphe de topologie du réseau, et chaque jonction est définie comme un sommet. En fonction de la distance vers la destination, le GPCR prend des décisions de routage réelles aux intersections pour déterminer quel prochain segment de route est la meilleure option pour le transfert de paquets. Par conséquent, les paquets doivent être transmis à un nœud sur la jonction, et ce nœud est connu sous le nom de nœud coordinateur, et il est élu sur la base de deux méthodes. La première consiste à utiliser des services de balisage afin que chaque nœud connaisse les informations de position de ses voisins, et un nœud peut être considéré comme un nœud coordinateur lorsqu'il a deux voisins qui sont à portée de communication l'un de l'autre, mais ne répertorient pas l'un l'autre en tant que voisin. Cela indique que les deux voisins sont cachés l'un à l'autre et que le nœud coordinateur est capable de transmettre des messages entre eux. La deuxième méthode est dérivée en calculant le coefficient de corrélation qui relie un nœud à ses voisins. Un coefficient de corrélation proche de zéro indique qu'il n'y a pas de cohérence linéaire entre les positions des voisins ce qui indique que le nœud est situé à une jonction.
- GpsrJ+ (Greedy Perimeter Stateless Routing Junction+) [40] est proposé pour améliorer davantage le taux de livraison de paquets en se basant sur quelques modifications du GPCR. GpsrJ+ utilise un balisage à deux sauts pour deviner le prochain segment de route dans lequel le paquet doit être transféré pour atteindre une destination. Si le nœud de transfert actuel a la même direction qu'un nœud coordinateur, le mécanisme de prédiction évite l'intersection et envoie le paquet au nœud en avant du nœud de jonction. Cependant, si le nœud coordinateur a une direction différente de celle du nœud de transfert actuel, il choisit le nœud coordinateur comme prochain saut de relais. En comparaison avec GPCR et GPSR, GpsrJ+ améliore et augmente le taux de livraison de paquets et réduit le nombre de sauts dans le mode périmètre de transfert de paquets.

- GSR (Geographic Source Routing) [39] est un protocole de routage de source particulièrement conçu pour les environnements urbains afin de surmonter les inconvénients du GPSR. Dans GSR, le meilleur chemin de routage est le plus court vers la destination, le processus de sélection du chemin de routage utilise le chemin le plus court de Dijkstra basé sur les informations de la carte numérique de la ville. Ce chemin le plus court consiste en une séquence d'intersections, chaque paquet doit suivre la séquence d'intersections calculée pour atteindre sa destination. Le transfert glouton est utilisé pour transférer des paquets de données entre deux intersections participantes. Lorsqu'un problème de maximum local apparaît, les paquets seront transférés via une stratégie de report et de transfert. L'inconvénient du GSR est que le chemin le plus court basé sur la distance n'est pas le meilleur chemin car il ne prend pas en compte les informations de circulation des véhicules le long du chemin. De plus, GSR est un protocole de routage piloté par la source qui utilise un mécanisme de sélection d'intersection fixe, ce qui entraîne de moins bonnes performances dans les réseaux hautement dynamiques.
- A-STAR (Anchor-based street and traffic Aware Routing)[41] est un protocole de routage praticable dans les environnements urbains. A-STAR utilise la circulation automobile dans la rue et attribue ensuite un poids à chaque rue en fonction du nombre de lignes de bus que possède la route. Plus une route possède de lignes de bus, moins elle est chargée en poids et vice versa. Une carte numérique facilite le calcul des intersections en utilisant l'algorithme du plus court chemin de Dijkstra. L'algorithme de transfert glouton est utilisé pour transférer du paquet de sa source à sa destination. Lorsque les paquets tombent dans un maximum local, une nouvelle stratégie de récupération est présentée. Le segment de route où le problème maximum local apparaît est marqué comme "hors service" pendant une courte durée et cette information est diffusée à travers le réseau ainsi d'autres paquets de données peuvent éviter cette rue "hors service". Le protocole de routage A-STAR est sensible au trafic qui prend en considération le nombre de lignes de bus mais il ne prend pas en compte la densité du trafic des véhicules. De plus, la majeure partie du trafic du réseau est orientée vers des rues ayant de nombreuses lignes de bus (ce qui peut induire une congestion de la bande passante) plutôt que des rues secondaires, même si ces rues offrent une meilleure connectivité et peuvent fournir le meilleur chemin.
- LOUVRE (Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environments)[42] construit une superposition au-dessus d'une topologie urbaine. C'est-à-dire que la superposition est constituée des routes connectées dans le réseau, ainsi un chemin de routage de la source à la destination peut être établi sur la base de la superposition. De plus, LOUVRE utilise un protocole P2P (Peer-to-Peer) pour rechercher et transférer les informations de densité de trafic de chaque route, et chaque nœud partage les informations de densité avec ses voisins à l'aide de messages de balise. Cependant, l'évolutivité de la superposition est limitée en raison du délai d'échange P2P dans l'ensemble du réseau.
- RBVT (Road-Based using Vehicular Traffic)[43] crée des chemins routiers basés sur des successions d'intersections routières. RBVT se compose de deux protocoles de routage : un protocole réactif (RBVT-R) et un protocole proactif (RBVT-P). Le processus de découverte de route dans RBVT-R est similaire aux protocoles de routage pilotés par la source [31], bien que les informations de routage enregistrées dans l'en-tête du paquet soient une succession d'intersections de routes au lieu de nœuds. RBVT-P est similaire à LOUVRE où les nœuds

recherchent et distribuent périodiquement la topologie du réseau routier pour conserver une vue générale de la connectivité du réseau. Les performances de RBVT-R dépendent de la stabilité de la connectivité des segments de route, et les performances de RBVT-P dépendent de l'efficacité de l'échange d'informations sur la connectivité du réseau. Cependant, RBVT a besoin de l'échange et de la maintenance d'informations non locales, ce qui entraîne une surcharge réseau élevée. De plus, les en-têtes de paquets de données enregistrent une liste d'intersections par lesquelles les paquets doivent passer et cela peut entraîner des problèmes d'évolutivité. De plus, la direction des véhicules n'est pas prise en compte dans la redirection géographique optimisée.

### 2.2.3 Protocoles de routage basés sur QoS

Les VANET prennent en charge un certain nombre d'applications pour la sécurité et le confort, des protocoles de routage efficaces basés sur la QoS (Qualité de service) [47],[48] sont donc nécessaires pour transmettre les paquets dans les limites des contraintes QoS requises dans les régions ciblées afin de satisfaire diverses applications.

RMRV (Road-based Multipath Routing protocol for urban VANETs) [49] est un protocole de routage multi-chemin basé sur la QoS basé sur la route dans des scénarios urbains. L'objectif principal du protocole de routage proposé est de trouver plusieurs itinéraires à travers le plan de route et d'estimer la durée de vie des chemins afin de choisir le chemin le plus stable. Une approche de graphe planaire espace-temps est proposée pour prédire la connectivité de chaque segment de route; par conséquent, la durée de vie future du chemin et les périodes de vie peuvent être dérivées. Cependant, les chemins de routage sont découverts par un mécanisme d'inondation, ce qui entraîne une surcharge réseau élevée et diminue l'efficacité de l'exploration. De plus, différentes paires de communication manquent de coopération pour s'adapter aux environnements de véhicules dynamiques.

CAR (Connectivity Aware Routing)[50] est un protocole de routage sensible à la connectivité conçu spécialement pour les communications entre véhicules dans les scénarios urbains. Le protocole CAR lance son processus de découverte de chemin lorsque le nœud demande un chemin vers la destination, la source commence à diffuser des messages d'exploration qui enregistrent le vecteur de vitesse des nœuds mobiles par lesquels ils passent. Si le sens du vecteur vitesse du nœud courant est différent de celui du nœud de renvoi précédent, ces deux nœuds sont considérés comme un couple diffuseur et sont insérés dans l'entête du message. Lorsqu'un message diffusé arrive à destination en utilisant le délai le plus court, le chemin parcouru par ce message est considéré comme le chemin de routage choisi, qui consiste en un ensemble de paires de diffuseurs intermédiaires. De toute évidence, CAR est un routage initié par la source qui doit maintenir un chemin de routage complet, qui ne peut pas s'adapter aux changements rapides de topologie des VANET, en particulier dans les scénarios urbains à grande échelle. De plus, la caractéristique de diffusion de la découverte de routage augmente les frais généraux redondants et exacerbe les congestions du réseau.

VADD (Vehicle-Assisted Data Delivery Routing) [51, pp. 1910–1922] est un protocole de routage sensible au délai. Dans cet algorithme, un véhicule de transfert prend une décision de routage à l'intersection et envoie le paquet à la route qui a un délai de livraison de paquet minimum. Sur la base de certains paramètres de trafic tels que la longueur de la route, la vitesse moyenne des véhicules et la densité du trafic routier, l'estimation du retard des routes est modélisée et exprimée à



l'aide d'un ensemble d'équations du système linéaire ( $n \times n$ ) avec la méthode d'élimination gaussienne, où  $n$  est le nombre de carrefours. Une fois l'intersection choisie, un nœud de transfert sur la route essaie de trouver le prochain nœud de relais. Sur les lignes droites, la priorité est attribuée au nœud le plus proche de la prochaine intersection. Dans le cas où il n'y a pas de nœuds voisins directs dans la plage de transmission du nœud de transfert, il transmet son paquet jusqu'à ce qu'il trouve un voisin approprié. Cependant, VADD présente certains inconvénients, comme une complexité élevée, en particulier lorsque le nombre d'intersections augmente dans la zone de portée. De plus, le VADD ne prend pas en considération la distribution des véhicules qui joue un rôle important dans la connectivité du réseau et ignore les effets du délai de 1 saut en fonction de l'état du canal, du taux de transmission du canal, de la charge de trafic, etc.

IGRP (Intersection-based Geographical Routing Protocol) [52] est un protocole de routage QoS basé sur la route. Dans IGRP, le chemin de routage consiste en une succession d'intersections. L'IGRP sélectionne les intersections routières de manière à ce que la probabilité de connectivité du chemin sélectionné maximise et satisfasse les contraintes de QoS en termes de délai de bout en bout, de nombre de sauts et de BER (taux d'erreur sur les bits). Le transfert géographique est toujours utilisé pour transférer des paquets entre deux intersections quelconques du chemin, réduisant la sensibilité du chemin aux mouvements de nœuds individuels. Cependant, IGRP nécessite un service de statistiques de trafic supplémentaire pour obtenir les informations de densité de nœud et de vitesse moyenne demandées pour l'estimation des métriques de QoS. De plus, IGRP est un protocole de routage basé sur la source et l'en-tête de chaque paquet de données ajoute une liste complète d'intersections, ce qui n'est pas utile pour s'adapter aux changements de topologie et à l'évolutivité du routage. De plus, les estimations mathématiques du retard et du nombre de sauts ne sont pas précises en raison de l'absence du cas des segments de route partiellement connectés.

ARP-QD (Adaptive Routing Protocol based on QoS and vehicular Density) [53] est un protocole de routage basé sur les intersections pour trouver le meilleur chemin pour le transfert de données, qui peut assurer diverses exigences de QoS basées sur le nombre de sauts, la durée de liaison et la connectivité afin de s'adapter à la topologie dynamique ainsi qu'à la connectivité discontinue, et faire l'équilibre entre stabilité et efficacité de l'algorithme. Afin de réduire la surcharge du réseau, un algorithme de découverte de voisins adaptatif est proposé pour obtenir des informations sur les voisins en fonction de la densité des véhicules locaux. Cependant, la connectivité est estimée en diffusant des paquets de contrôle qui peuvent entraîner une congestion du canal en cas de charge de trafic élevée, et cette métrique est une valeur instantanée et non précise dans les scénarios dynamiques. De plus, n'utiliser que la distance globale n'est pas suffisant pour indiquer la qualité de service complète d'un chemin de routage, et les paquets peuvent souffrir de partitions/congestions de réseau dans les futurs segments de route.

MURU (MULTi-hop Routing protocol for Urban VANETs) [54] est un protocole de routage distribué, ne nécessite aucune infrastructure préinstallée et capable de trouver des chemins robustes dans les VANETs urbains afin de fournir un taux de livraison de paquets élevé avec une faible surcharge. Pour évaluer le niveau de stabilité de tout chemin de routage disponible, une métrique spécifique appelée EDD (Expected Disconnection Degree) est proposée, qui est définie comme la probabilité de déconnexion du chemin dans un intervalle de temps prédéfini. Cette métrique est calculée en fonction de la vitesse et de la trajectoire de déplacement prévues de chaque véhicule, puis l'itinéraire qui a le plus petit EDD est sélectionné. De plus, MURU utilise un mécanisme de backoff basé sur la géométrie de la feuille de route pour supprimer les messages de contrôle inutiles afin de réduire la

surcharge du réseau. Sinon, MURU est sensible aux optimums locaux qui réduiraient considérablement l'évolutivité du protocole de routage.

## 2.2.4 Algorithmes de transfert de paquets

Un algorithme de transfert de paquets approprié joue un rôle clé dans la conception des protocoles de routage disponibles pour les VANET et certains travaux connexes dans ce domaine sont présentés dans cette section[55].

AODV [31] Le vecteur de distance à la demande ad hoc utilise les informations de la table de routage pour choisir le prochain saut, mais le processus de découverte de route d'AODV entraîne une surcharge réseau élevée, qui peut devenir plus vitale lorsque la liaison sans fil est instable. Dans [56], un paquet de données sélectionne clairement le prochain bond en fonction de son en-tête de paquet dans lequel toute la liste des chemins est enregistrée. Cependant, le champ de chemin complet basé sur le nœud entraîne des problèmes de surcharge de routage et d'évolutivité. Afin de s'adapter aux problèmes d'évolutivité et de fiabilité, la méthode de transfert géographique est utilisée pour transférer les paquets de données.

Greedy+AGF (Greedy perimeter stateless routing with Advanced Greedy Forwarding) [57], dans cet algorithme, les nœuds source et destination doivent se dénoncer mutuellement leurs vecteurs de vitesse. En outre, le temps de traitement des paquets et le temps de déplacement des paquets sont insérés dans chaque en-tête de paquet. Lors du transfert du paquet de données au saut suivant, la source vérifie d'abord si le nœud de destination est enregistré dans sa table de nœuds voisins et toujours disponible en fonction du temps de parcours du paquet et des vecteurs de vitesse du nœud source et du nœud de destination. Si le nœud de destination existe dans sa table de voisins, mais que la nouvelle prédiction de position indique que le nœud de destination peut être hors de sa portée de communication pendant le processus d'envoi de paquets de données, alors le nœud le plus proche de la nouvelle position de la destination est sélectionné comme prochain saut. Si le nœud de destination n'existe pas dans la table de voisins, le nœud d'envoi vérifie le temps de trajet du paquet et s'approche s'il peut éventuellement atteindre la position du nœud de destination dans un saut de transmission. Si oui, le paquet de données est directement envoyé au nœud de destination. Si aucune réponse n'est reçue, le prochain nœud le plus proche du nœud de destination est sélectionné et le processus se répète. Cependant, les deux algorithmes de transfert géographique font parfois tomber les paquets de données dans des maximums locaux, puis initient une stratégie de réparation, qui ne fonctionne pas bien dans les scénarios de ville car ils reposent sur un algorithme distribué

pour planer le graphe [38]. [39] utilise simplement un algorithme de transfert glouton restreint pour surmonter le problème du maximum local.

GeOpps [58] utilise une méthode géographique basée sur la trajectoire pour sélectionner le prochain saut. Sur les routes proposées vers leur propre destination, les nœuds voisins calculent d'abord le point le plus proche qu'ils traverseront jusqu'à la destination du paquet de données, puis ils utilisent une formule de fonction (basée sur les informations du point le plus proche et la carte numérique) pour estimer le minimum temps nécessaire à ce paquet de données pour atteindre sa destination. Enfin, le nœud voisin qui peut transférer ce paquet de données vers sa destination avec le temps le plus court sera sélectionné comme prochain saut.

Cependant, ces algorithmes de transfert géographique exigent une diffusion proactive des messages Hello, qui utilise plusieurs ressources et consomme plus de bande passante dans les environnements VANET. Ainsi, les performances des protocoles de routage VANET sont affectées, en particulier aux heures de pointe dans les scénarios urbains. Afin d'éliminer les impacts de la diffusion de messages Hello, les algorithmes de sélection du prochain saut distribué sont proposés dans des réseaux ad hoc et de capteurs [59],[60] basés sur le concept basé sur le récepteur. L'expéditeur diffuse un paquet de contrôle à ses voisins pour l'informer d'une transmission de paquet de données en attente, puis chaque nœud voisin utilise des critères spécifiques pour décider s'il peut être choisi comme candidat au prochain saut, et si c'est le cas, il calcule un temps d'attente, qui est utilisé pour permettre au meilleur candidat de répondre en premier. Si un voisin n'entend pas un meilleur candidat avant l'expiration de son temps d'attente, il informe l'expéditeur qu'il s'agit du meilleur saut suivant.

### 2.2.5 Protocoles de routage basés sur des clusters

Le concept principal des protocoles de routage de cette catégorie est de diviser le réseau en groupes et de sélectionner un nœud comme chef de groupe en fonction de diverses métriques telles que l'ID de nœud, la position, la densité, la vitesse, la direction des nœuds, etc. du chef de groupe[61]. Les structures de clustering présentent plusieurs avantages par rapport aux structures plates, où, en utilisant des architectures de clustering, les réseaux peuvent garantir un équilibrage de charge, une évolutivité élevée et une surcharge minimale [62].

SCRCP [63] Stable CDS-based Routing Protocol, est basé sur une technique de transfert de source de localisation géographique distribuée qui utilise la topologie du réseau de véhicules pour choisir les routes de routage de données avec un faible retard. L'algorithme SCRCP crée des backbones stables tout au long des segments de route en utilisant deux métriques principales qui sont : la vitesse des véhicules et leur distribution spatiale. Ces backbones sont associées aux intersections via des nœuds de passerelle spéciaux qui maintiennent une topologie de réseau de véhicules à jour et suivent le délai prévu pour le routage des données sur les segments de route. Sur la base de ces informations, la SCRCP alloue des poids aux segments de route. Ainsi, les segments de route qui ont les poids les plus faibles sont choisis pour former les chemins de routage. A cet égard, la solution SCRCP permet d'éviter le problème de maximum local et de garantir l'équilibrage de charge sur tous les chemins de routage possibles.

Algorithme de clustering basé sur la logique floue pour les VANETs [64], les CH sont élus sur la base de leur vitesse relative et de leur distance par rapport aux véhicules dans leur voisinage. De plus, le protocole proposé renforce la stabilité des clusters via l'élection du CH secondaire (à utiliser comme CH lorsque le CH précédent devient indisponible). De plus, la phase de maintenance est adaptable au comportement du conducteur sur la route sur la base d'un système d'inférence de logique floue. Par conséquent, l'algorithme est adapté pour être appliqué dans des environnements à forte mobilité.

AWCP [65] Un algorithme génétique multi-objectif Adaptive Weighted Clustering Protocol est conçu pour les VANET, il élit les CH en fonction de la valeur de poids calculée en fonction de divers paramètres tels que l'identification de l'autoroute, la direction des véhicules, l'emplacement du véhicule, la vitesse du véhicule et la connectivité des véhicules. L'objectif principal de l'algorithme AWCP est d'améliorer la stabilité du réseau. En définissant une méthode génétique multi-objective dont les entrées sont les métriques utilisées pour calculer les poids des nœuds. Cette méthode vise à

fournir une structure de clusters stable aussi longtemps que possible, à améliorer le taux de livraison des données et à réduire la surcharge totale de clustering.

PCTIC [66] Technique de clustering basée sur la position pour la communication ad hoc entre véhicules, cet algorithme est destiné aux grands VANET multi-sauts. Les grappes sont formées en fonction de la position géographique des véhicules. L'algorithme sélectionne un nœud de chaque groupe pour jouer le rôle de CH sur la base du problème de l'ensemble dominant minimal (MDS). La taille du cluster est définie en fonction de la distance maximale entre les CH et leurs membres. Ainsi, les clusters sont surveillés indépendamment et reconfigurés dynamiquement chaque fois que les véhicules se déplacent et changent de direction.

## 2.3 Classification et comparaison des protocoles de routage

Sur la base de notre revue, la figure 2.1 montre notre classification pour les protocoles de routage présentés. Dans le tableau 2.1, nous fournissons une comparaison générale des divers algorithmes de routage dans les VANET et IoV discutés ci-dessus où nous définissons les méthodes utilisées, les avantages de ces protocoles, leurs limites et nos remarques sur chaque type.

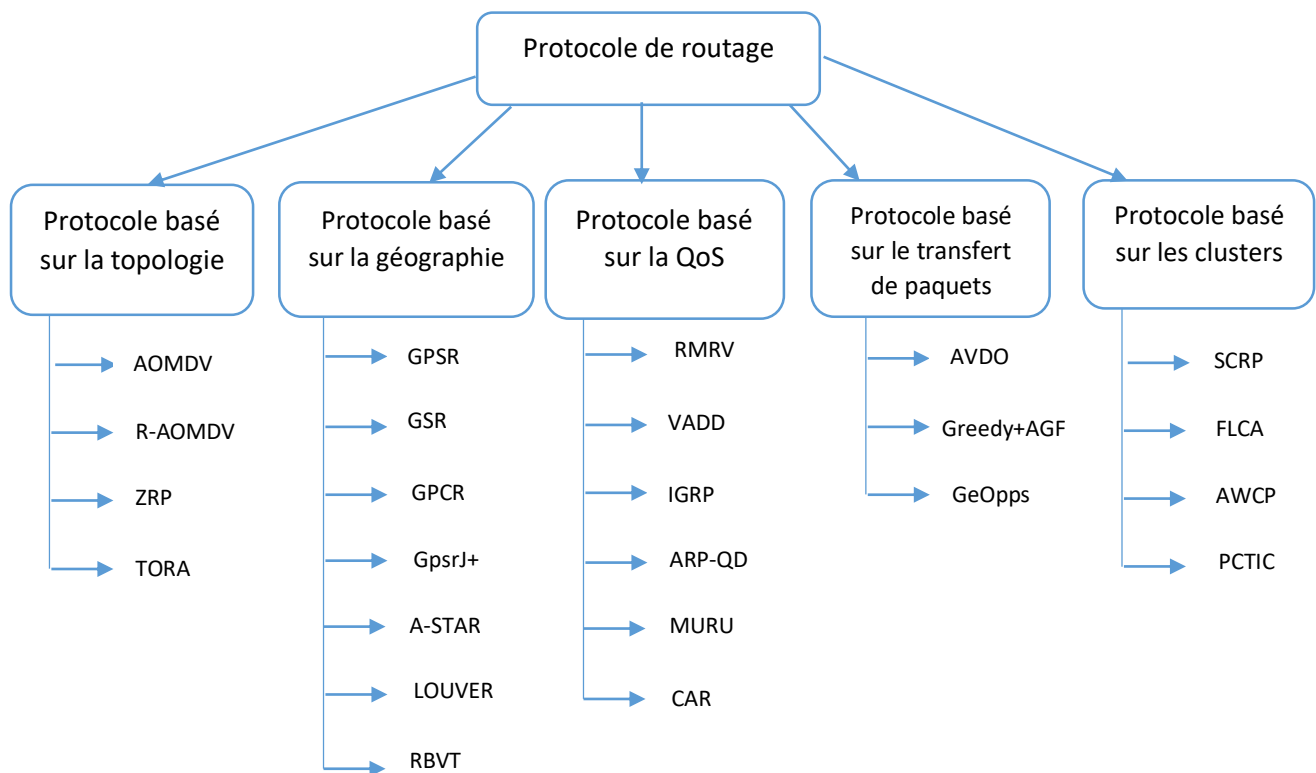


Figure.2.1 Classification des protocoles de routage

Tableau 2.1 Comparaison des protocoles de routage :

Protocoles de routage	Méthodes utilisées	forces	Limites	Commentaires
<b>Routage basé sur la topologie</b>	Informations sur la topologie du réseau enregistrées dans la table de routage comme base pour l'envoi de paquets	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topologie du réseau initialement connue</li> <li>• Le temps le plus court pour trouver l'itinéraire vers la destination.</li> <li>• Moins de consommation de ressources.</li> <li>• Prise en charge des messages unicast, multicast et Broadcast.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Échec de la découverte d'un chemin complet (changements fréquents de réseau)</li> <li>• Inondations inutiles.</li> <li>• Plus de frais généraux</li> <li>• Les itinéraires découvrent et maintiennent les retards.</li> </ul>	La plupart de ces protocoles sont proposés pour les MANET. Ces protocoles peuvent être utiles pour les petits réseaux (moins de surcharge).
<b>Protocoles de routage basés sur la géographie</b>	Partage de l'information géographique des véhicules basée sur le service de positionnement global	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pas besoin de créer et de maintenir des routes globales.</li> <li>• Plus stable dans un environnement à forte mobilité.</li> <li>• Plus adapté aux nœuds distribués du réseau.</li> <li>• Frais généraux les plus bas.</li> <li>• Plus évolutif</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obstacles dans le scénario d'autoroute</li> <li>• Problème de blocage dans la localisation du serveur</li> <li>• Les services de localisation peuvent échouer dans un tunnel ou des obstacles (signal satellite manquant)</li> </ul>	Plus adapté aux VANETs ; mais besoin de plus de recherches pour les petits réseaux et contrôler la congestion
<b>Protocoles de routage basés sur QoS</b>	Sélection de certains paramètres réseau à utiliser pour estimer la qualité de service des liens	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de qualité de service.</li> <li>• Délai de paquet minimum.</li> <li>• Moins de déconnexions de liens.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus de messages envoyés pour mettre à jour les valeurs des paramètres.</li> <li>• Consomme plus de ressources.</li> </ul>	Besoin de plus de recherches pour améliorer la fiabilité, la retransmission des paquets, l'évolutivité et éviter les collisions
	Diffusion de paquets vers tous	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moins de pertes de paquets.</li> </ul>		Ces protocoles sont utiles pour

<b>Protocoles de transfert de paquets</b>	les nœuds du réseau à l'intérieur du domaine de diffusion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transmission de données plus fiable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consomme de la bande passante</li> <li>• Circuits en boucle</li> <li>• La congestion du réseau</li> <li>• Moins de débit réseau</li> <li>• Plus de retard de paquet.</li> <li>• Collisions de paquets</li> </ul>	les messages d'alerte. Besoin de contraintes d'inondation de paquets.
<b>Protocoles de routage basés sur des clusters</b>	Le réseau est divisé en clusters, chaque cluster a une tête de cluster pour gérer la communication à l'intérieur et à l'extérieur du cluster	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Routage efficace en envoyant une copie à plusieurs nœuds</li> <li>• Consommation minimale du réseau</li> <li>• Délai de livraison des paquets minimum</li> <li>• Facile à mettre en œuvre.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consomme des ressources en sélectionnant à chaque fois CHs.</li> <li>• Changement fréquent des têtes de grappe.</li> </ul>	Les protocoles proposés de cette catégorie sont très utiles pour les réseaux évolutifs. contrôle pour les groupes dynamiques.

## Les algorithmes de clustering pour les IOV

### 2.4 Classification des algorithmes de clustering

Le choix d'une technique de structuration de réseau efficace pour le paradigme IoV est un sujet difficile. Le clustering a considérablement amélioré les performances du réseau par rapport à la structure plate classique dans de nombreuses applications[23],[67]. Plusieurs travaux ont été proposés afin de fournir une structure de réseau fiable. Diverses méthodes ont été conçues spécifiquement pour les réseaux de véhicules en fonction de différents paramètres et concepts. Dans cette section, nous présenterons les protocoles de clustering les plus connus et les plus récents proposés pour les réseaux de véhicules.

#### 2.4.1 Algorithmes de clustering classiques basés sur MANET

Lowest Relative Mobility Clustering Algorithm (MOBIC)[68], est un algorithme de clustering très populaire dans MANET. Le critère de sélection des nœuds de tête de cluster est basé sur la mobilité relative des nœuds. L'idée principale de cet algorithme est de sélectionner les nœuds qui se déplacent avec une faible mobilité en tant que têtes de cluster, où les auteurs supposent que ces nœuds offrent plus de stabilité.

MOBIC utilise un intervalle de temps appelé Cluster Contention Interval (CCI) pour éliminer les têtes de cluster inutiles, dans le cas où deux CH sont voisins après l'expiration de la période de CCI, le CH qui à l'ID le plus élevé abandonne le rôle de CH. Ce mécanisme est utilisé pour minimiser la redondance de maintenance des CH.

Highest Degree (HD) Algorithm[69], est basé sur le facteur de densité des nœuds, les nœuds qui ont plus de nœuds voisins seront sélectionnés comme CH. Afin de connaître le nœud qui a plus de voisins, chaque nœud diffuse périodiquement un "hello message" à ses voisins directs, qui comprend la valeur en degré de ce nœud. Après avoir reçu les messages de balise par les nœuds de voisinage, chaque nœud compare sa valeur de degré avec la valeur reçue. Le nœud qui a le degré le plus élevé devient le CH et le reste des nœuds voisins deviennent des membres du cluster.

A Flexible Weighted Clustering Algorithm Based on Battery Power (FWCABP) for MANETs [70]. L'idée principale de ce travail proposé est d'éviter les nœuds qui ont une faible puissance de batterie pour être élus en tant que tête de cluster.

Avec le même mécanisme d'algorithme HDC [70], chaque nœud diffuse un message "hello message" qui contient une valeur de pondération du nœud, qui est calculée sur la base de degré de nœud, la somme de la distance aux nœuds voisins, la mobilité du nœud et de la puissance restante de la batterie. Le nœud qui a la plus petite valeur est élu comme CH. FWCABA appelle le processus de maintenance dans deux cas: si un nœud se déplace en dehors de son cluster et / ou la puissance de la batterie du CH diminue jusqu'à une valeur de seuil prédéfinie.

Score Based Clustering Algorithm (SBCA) [71] pour les MANET. Cet algorithme partage la même idée de FWCABA[70] en termes de valeur de poids mais avec des facteurs différents: la puissance restante de la batterie, la valeur en degré du nœud, le nombre de membres et la stabilité du nœud. Le but de cette technique est de créer un nombre minimum de clusters et de maximiser la durée de vie des nœuds mobiles. Pour lancer la phase de formation du cluster, chaque nœud diffuse un message de balise à ses voisins, y compris son score calculé. Le nœud qui a le score le plus élevé est sélectionné comme CH.

## 2.4.2 Algorithmes de clustering basés sur le voisinage

- Algorithmes de clustering à un saut

A Self-Organized Clustering Architecture for Vehicular Ad Hoc Networks (SOCV)[72], est un schéma de clustering à un saut basé sur la combinaison de la clé publique et de la cryptographie à clé secrète. L'objectif principal de ce travail est de proposer un nouveau système qui réduit le nombre de communications dans un trafic routier dense et assure des communications réseau sûres dans VANET. Les auteurs créent une "backbone" virtuelle dynamique dans le réseau qui comprend des nœuds Cluster-Heads et cluster-Gateways, la principale responsabilité de ces nœuds étant de garantir une propagation efficace des messages dans le réseau.

Stochastic Modeling of Single-Hop Cluster Stability in Vehicular Ad Hoc Networks[73]. Dans ce travail, la phase de formation des clusters est basée sur un modèle de mobilité stochastique. Ce modèle de mobilité stochastique est utilisé pour mesurer les variations temporelles des distances entre véhicules. Dans un premier temps, une chaîne de Markov localisée en temps discret est utilisée pour modéliser les variations temporelles du système des distances de progression, puis pour mesurer la stabilité de la grappe, les auteurs utilisent l'analyse du premier temps de passage pour

dériver les distributions de probabilité des périodes de temps de la grappe invariante. État de chevauchement et appartenance au cluster. Enfin, la théorie des files d'attente est utilisée pour modéliser le comportement du nombre de nœuds n'appartenant à aucun cluster et des nœuds communs entre les clusters voisins

- Algorithmes de clustering de k-sauts

A distributed D-hop cluster formation for VANET(DHCV)[74], crée des clusters de manière que la distance entre chaque nœud du cluster et la tête de cluster du même cluster soit au plus D-hops. L'objectif principal de ce schéma proposé est de diviser les véhicules en groupes qui ne se chevauchent pas, qui ont des tailles adaptatives en fonction de leur mobilité. Pour créer des D-hop clusters, chaque véhicule choisit sa tête de cluster en fonction des calculs de mobilité relative au sein de ses D-hop voisins.

Multi hop-cluster Based IEEE 802.11p and LTE Hybrid architecture for VANET safety message dissemination (VMaSC-LTE) est proposé en[75]. Dans ce schéma proposé, les auteurs supposent que le nombre élevé de messages diffusés et les problèmes de réseau déconnecté réduiront le taux de livraison des messages et les performances de latence dans un réseau basé uniquement sur la technologie LTE. Les auteurs supposent également qu'un réseau basé sur une communication cellulaire pure n'est pas réalisable en raison du coût élevé de la communication entre les véhicules et les infrastructures. Afin d'améliorer les performances du réseau, les auteurs proposent d'utiliser une architecture hybride basée sur le clustering multi-hop basé sur IEEE 802.11p et LTE. Le processus de sélection des chefs de groupe est basé sur la vitesse relative moyenne des véhicules.

### 2.4.3 Algorithmes de clustering basés sur les informations géographiques

- Algorithmes de clustering basés sur la position

A Position Sensitive Clustering Algorithm (PSCA) [76], est conçu pour les réseaux de véhicules à haute densité. Le processus de sélection du chef de cluster est basé sur les informations de position diffusées, où tous les membres du cluster doivent diffuser leurs messages d'état attendus en utilisant le routage multi-sauts. Le processus de sélection initial des CH est effectué selon le principe de "Concurrence aléatoire, première déclaration gagnante". Après une série d'informations reçues et de travaux de calcul, le CH diffuse un message de contrôle à une heure précise par diffusion directionnelle. Chaque membre du cluster doit envoyer ses informations de position au CH avant la prochaine heure spécifique, afin que le CH mette à jour ces informations et les utilise dans la prochaine itération du processus de clustering.

A new Position Based Clustering Technique for Ad Hoc Inter-Vehicle Communication (PCTIC)[66], est un nouvel algorithme de regroupement pour les grands VANET à sauts multiples. Le processus de formation de regroupement est effectué en utilisant les informations de position géographique des véhicules, les priorités des véhicules et les informations de trafic. Les têtes de cluster sont sélectionnées en fonction du jeu de dominance minimal (MDS). La distance maximale de K-hops entre les CH et leurs membres de cluster définit la taille de chaque cluster. Chaque tête de cluster contrôle et surveille son cluster indépendamment et le reconfigure de manière dynamique pendant le mouvement des véhicules.



- Algorithmes de clustering basés sur la destination

A Destination Based Routing (DBR) Algorithm for context-based clusters in VANETs [77] présente deux mécanismes pour minimiser le trafic de données et le délai de bout en bout dans les VANET. Le premier mécanisme est un algorithme de clustering basé sur le contexte, il est basé sur différentes métriques telles que la direction, la vitesse relative, la liste d'intérêts et la destination finale. Le second mécanisme est un protocole de routage basé sur la destination proposé pour les clusters contextuels afin d'améliorer la communication entre les clusters. En utilisant le clustering basé sur le contexte qui inclut la liste d'intérêt des véhicules, la communication globale de bout en bout est considérablement améliorée.

Un schéma DACR (Destination-Aware Context-Based Routing) utilisant un algorithme de clustering informatique souple pour VANET [78], dans ce travail, les auteurs présentent deux approches informatiques logicielles. La première est une méthode de clustering hybride qui combine le clustering géographique et contextuel afin d'améliorer les performances du réseau en minimisant la surcharge et le trafic du contrôle du réseau. Le second est un protocole de routage sensible à la destination conçu pour la communication inter-clusters afin d'améliorer le processus de transmission des messages en augmentant le taux de livraison des paquets et réduction du délai de bout en bout.

#### 2.4.4 Algorithmes de clustering basés sur la mobilité

A new Aggregated Local Mobility (ALM) clustering Algorithm est proposé dans [79], L'objectif principal de ce travail est de prolonger la durée de vie de la connectivité réseau dans les VANET. Cet algorithme proposé introduit un mécanisme de mobilité locale agrégée pour contrôler et surveiller les CH existants. Pour sélectionner les CH, chaque nœud calcule sa variance de mobilité sur tous ses voisins. Les auteurs supposent que le véhicule qui a la plus faible variance est plus stable. En conséquence, le véhicule qui a moins de variance de mobilité par rapport à ses voisins est le plus approprié pour être sélectionné comme CH.

Mobility adaptive density connected clustering Algorithm (MADCCA)[80] , construit pour la stabilité du cluster uniquement dans différents scénarios. Sur la base de densité de trafic de la tête de cluster, la commutation est effectuée en maintenant la densité de nœuds moyenne pour chaque CH. Les paramètres clés utilisés dans MADCCA sont la vitesse du véhicule et la densité des nœuds dans un environnement différent. MADCCA est comparée à "a mobility-based metric for clustering in MANET (MOBIC)"[68] et à "aggregated local mobility (ALM)"[79]. MADCCA a mieux performé que MOBIC et ALM dans l'expérimentation l'utilisation de la valeur de plage de transmission statique pour tous les nœuds.

An efficient Dynamic Mobility-Based Clustering (DMC), un algorithme pour former un réseau central stable pour l'agrégation et la diffusion futures des données[81] exécute le processus de formation de cluster basé sur les modèles de mobilité des véhicules. De plus, les auteurs ajoutent un certain nombre de mesures telles que la direction, la vitesse relative, la distance moyenne relative et la stabilité de la liaison. L'algorithme proposé utilise un nouveau mécanisme de formation de cluster dynamique, où les véhicules sont supposés statiques pendant la phase de formation. Afin d'améliorer la phase de formation de cluster, une méthode de "tête de cluster temporaire" est proposée. De plus, afin de surveiller la taille du cluster, l'algorithme présente une méthode de "seuil de distance de sécurité".

## 2.4.5 Algorithmes de clustering basés sur le poids

Efficient Weight-Based Clustering Algorithm using a Mobility Report (WECA-MR) [82], est un nouvel algorithme conçu pour l'environnement IoV. L'objectif principal de cette méthode proposée est de garantir une stabilité efficace des clusters avec un nombre minimum de CH. Le processus de formation de cluster est basé sur les valeurs de poids des nœuds. Les valeurs de poids calculées sont basées sur trois paramètres: le nombre de voisins, la distance moyenne et le rapport de mobilité (MR). Ce dernier utilise deux autres métriques de mobilité: la vitesse et l'accélération afin d'augmenter la stabilité des clusters.

Un algorithme multi-objectif basé sur la génétique Adaptive Weighted Clustering Protocol (AWCP) [83] introduit une méthode génétique multi-objectif qui utilise différentes métriques d'entrées telles que l'identification de la route, la direction des véhicules, l'emplacement, la vitesse et la connectivité des véhicules afin de calculer les poids des nœuds. Le processus de sélection des CH est basé sur des valeurs de poids qui combinent différents paramètres. Son objectif principal est d'améliorer la stabilité du réseau, d'améliorer le débit de transmission des données et de réduire la surcharge du réseau.

## 2.4.6 Algorithmes de clustering bio-inspirés

L'algorithme de clustering pour l'Internet des véhicules (IoV) basé sur le "dragonfly optimizer" (CAVDO) [84] est une approche Métaheuristique basée sur l'algorithme des libellules "Dragonflies" (DA). DA se caractérise par deux comportements d'essaimage «Essaimage dynamique» qui est utilisé pour la recherche de nourriture, et «Essaimage statique» qui est utilisé pour les déplacements locaux ou la chasse. Cet algorithme utilise des poids dynamiques pendant son processus de travail, dans CAVDO, les auteurs ont utilisé la direction et la vitesse des nœuds participants pour générer les poids. Pour évaluer l'aptitude des libellules, les auteurs ont utilisé une fonction multi-objective. Le travail proposé est comparé à l'ACO[85] et au CLPSO [86], le CAVDO a obtenu des résultats égaux ou supérieurs à l'ACO et au CLPSO.

Un autre algorithme bio-inspiré récent pour la technique de clustering des VANET est proposé. Il est appelé algorithme Binary artificial Bee colony (BABC)[87]. L'objectif principal de cette méthode est de garantir une communication robuste en utilisant un arbre couvrant minimum pour connecter des nœuds sans boucles. Le nombre maximum de nœuds pris en compte pour la simulation est de 16 en utilisant un seul paramètre «prédiction de hit maximum». Le travail proposé est comparé à l'algorithme de Kruskal en utilisant uniquement un scénario véhicule-bord de route. BABC a surpassé l'algorithme de Kruskal en raison de ses capacités avancées pour connecter les nœuds les uns aux autres.

Un algorithme de clustering Métaheuristique basé sur l'amélioration de l'optimisation des colonies de fourmis (CACOIOV)[88] est proposé. Il stabilise la topologie du réseau en utilisant deux étapes distinctes pour l'optimisation de l'itinéraire des paquets. Un autre algorithme, appelé mobilité Dynamic Aware Transmission Range on Local traffic Density (DA-TRLD) [89], est utilisé avec CACOIOV pour l'adaptation de la portée de transmission en fonction de la densité du trafic local.

Le clustering intelligent utilisant l'optimisation de Gray Wolf (ICGWO)[90] est un nouvel algorithme proposé pour le clustering. Il est basé sur le comportement social de Grey Wolf Optimization (GWO). Le comportement social de GWO repose sur trois étapes: rechercher, encercler

et chasser. Dans la nature, le GWO divise la meute de loups en quatre catégories: alpha ( $\alpha$ ) qui est le candidat le plus fort de la meute qui donne les ordres à tous les autres loups. Les bêtas ( $\beta$ ) prennent la deuxième position après les loups alpha, ils soutiennent l'alpha pour prendre des décisions. Delta ( $\delta$ ) ces loups aident à protéger tout le groupe. Les omégas ( $\omega$ ) sont les loups les plus faibles de la meute. Les auteurs ont utilisé la fonction de fitness pour diviser les nœuds en trois catégories et leur donner leurs positions.

Sur la base d'une revue, ils proposent une nouvelle classification pour les algorithmes de clustering en IoV comme l'illustre la figure 2.2, ainsi que le tableau 2.2 présente une analyse comparative générale de divers algorithmes de clustering en IoV discutés ci-dessus sur la base de divers paramètres clés. Les paramètres sélectionnés pour la comparaison sont: la densité, la qualité de service, la surcharge totale, les clusters qui se chevauchent et la stabilité.

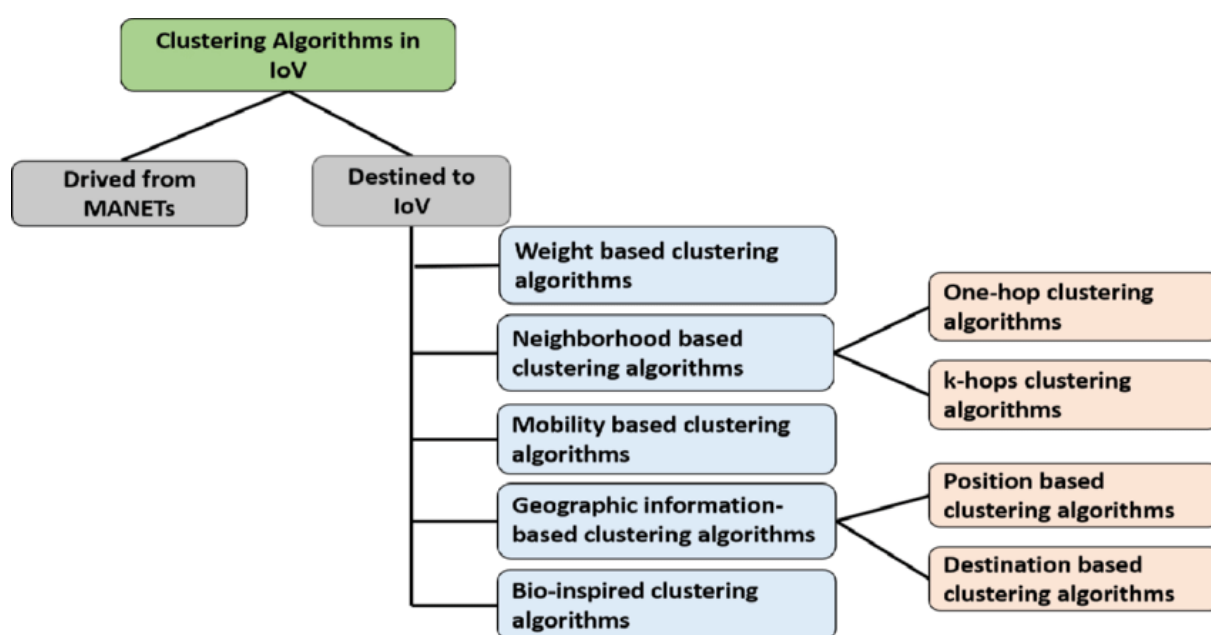


Figure.2.2 Protocoles de routage Classification en IoV [91].

Schémas de clustering	Basé sur	Densité	QoS	Frais généraux totaux	Chevauchement de clusters	Stabilité
MOBIC[68]	MANET	Meugler	Non	Haute	Possible	Haute
HD[69]	MANET	Meugler	Oui	Haute	Non	Modérer
FWCABP [70]	MANET	Meugler	Non	Haute	Non	Moyen
SBCA[71]	MANET	Modérer	Non	Meugler	Non	Haute
SOCV [72]	Un saut	Meugler	Non	Meugler	Possible	Moyen
Single-Hop [73]	Un saut	Moyen	Oui	Meugler	Possible	Moyen
DHCV [74]	k-sauts	Moyen	Non	Haute	Non	Moyen
VMaSC-LTE [75]	k-sauts	Haute	Oui	Haute	Non	Haute
PSCA [76]	Position	Modérer	Non	Haute	Possible	Haute

PCTIC[55]	Position	Haute	Non	Moyen	Possible	Haute
DACR [77]	Destination	Moyen	Non	Moyen	Possible	Meugler
DBR [78]	Destination	Meugler	Non	Moyen	Possible	Moyen
ALM[79]	Mobilité	Moyen	Non	Moyen	Non	Haute
MADCCA [80]	Mobilité	Haute	Oui	Moyen	Non	Haute
DMC [81]	Mobilité	Moyen	Non	Haute	Possible	Haute
WECA-MR[82]	Poids	Moyen	Oui	Moyen	Non	Haute
AWCP [83]	Poids	Haute	Oui	Moyen	Possible	Haute
QoScluster[92]	Poids	Moyen	Oui	Meugler	Possible	Haute
CAVDO [84]	Bio-inspiré	Haute	Oui	Moyen	Possible	Haute
BABC[87]	Bio-inspiré	Moyen	Oui	Meugler	Non	Moyen
CACIOV [88]	Bio-inspiré	Haute	Oui	Haute	Non	Haute
ICGWO [90]	Bio-inspiré	Moyen	Non	Moyen	Possible	Haute

Tableau 2.2 Comparaison des protocoles de routage [93].

## 2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons passé en revue la littérature existante pour cinq types de communications que ce mémoire a pris en compte : les algorithmes de routage basés sur la topologie, les algorithmes de routage basés sur la géographie, les algorithmes de routage basés sur la QoS, les algorithmes de routage basés sur le transfert de paquets et les algorithmes de routage basés sur les clusters. Ensuite, nous avons classé les protocoles de routage et mis en évidence les limitations communes à chaque type de communication. Ces limites ont motivé les contributions que nous avons apportées à ce mémoire.

---

### Chapitre 3

---

\*\*\*\*\*

Contribution

Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering

\*\*\*\*\*

## 3.1 Algorithme de clustering WBCA pour IoV

### 3.1.1 Introduction

Les VANETs sont connus comme une partie des réseaux mobiles ad hoc (MANET), où les véhicules jouent le rôle de nœuds mobiles, les communications VANET sont définies par l'interaction et le partage de données entre les véhicules, les infrastructures et les unités routières (RSU). L'Internet des objets (IoT) est un nouveau domaine apparu récemment, l'IoT apporte un nouveau concept appelé objet intelligent (maison intelligente, corps intelligent, animal intelligent...)[14]. Le réseau IoT permet à divers objets intelligents de communiquer et d'échanger des informations entre eux afin d'accomplir une tâche spécifique. Ces dernières années, l'IOV est apparu comme une nouvelle sous-classe de l'IoT.

L'émergence du nouveau domaine de l'IoT conduit les VANET classiques, au cœur des systèmes de transport intelligents (ITS), à devenir un domaine autonome nommé par l'IOV. Un véhicule, en IOV, est considéré comme une machine intelligente, qui propose différents services aux utilisateurs finaux via une connexion Internet comme des applications de sécurité (alerte accident, alerte trafic...), et des applications de divertissement (jeux, streaming de vidéos, téléchargement de musique...).

L'IOV est considéré comme l'extension des VANET classiques sous différents aspects (nœuds de communication, technologies réseau, évolutivité réseau,... ..). Les communications réseau IOV fournissent divers types de connexion tels que la connexion de véhicule à véhicule (V2V), la connexion de véhicule à infrastructure (V2I), la connexion de véhicule à personne (V2P), de véhicule à RSU (V2R) et la connexion Vehicle-to-X (V2X). V2X signifie qu'un véhicule peut communiquer avec n'importe quel objet intelligent dans son environnement. L'IOV présente plusieurs caractéristiques spécifiques: les véhicules à grande vitesse qui représentent des nœuds à forte mobilité, les véhicules sont les nœuds dominants du réseau, où le nombre de véhicules est très élevé par rapport aux autres objets intelligents, l'évolutivité du réseau, le nombre de nœuds connectés en interaction dans L'IOV est très élevé, la prise en charge de réseaux hétérogènes tels que 4G, Bluetooth, Zigbee, etc., et l'architecture de réseau IOV est basée sur des cloudes.

L'IOV offre divers avantages tels que: le partage d'informations routières, le partage d'événements d'alerte, l'assistance au conducteur, le système d'infodivertissement, le contrôle intra-véhicule,... [11]. Cependant, il présente certains inconvénients tels que la forte dynamique du réseau causée par la vitesse élevée des véhicules, qui à son tour augmente le taux de changement de topologie qui affecte le taux de livraison des paquets [23]. Le nombre élevé de véhicules connectés à l'IOV dans les villes intelligentes, entraîne une forte croissance de la surcharge du réseau qui se traduit par une perte de paquets. Les informations partagées des véhicules connectés en réseau rendent les véhicules susceptibles aux pirates de contrôler leurs mouvements où ils peuvent les forcer à accélérer, freiner ou diriger.

L'IOV fait face à différents défis tels que: améliorer la qualité de service (QoS) du réseau en minimisant le temps de diffusion des paquets en particulier les messages d'alerte, minimiser la surcharge du réseau pour éviter la perte de paquets, augmenter le niveau de sécurité pour protéger les utilisateurs contre les pirates,.... Le clustering est l'une des meilleures méthodes utilisées pour minimiser la surcharge du réseau et augmenter la fiabilité du réseau.

### 3.1.2 Motivation et approche de clustering

La congestion du réseau est l'un des problèmes majeurs qui apparaît lorsqu'il y a un grand nombre de nœuds connectés dans le réseau. Les différents types de connexions dans IoV augmentent le nombre de nœuds en interaction, ce qui augmente à son tour le nombre de paquets échangés. Le nombre élevé de paquets envoyés et reçus sur le réseau entraîne divers problèmes tels que la perte de paquets, le délai de mise en file d'attente et le blocage des connexions.

Afin de résoudre le problème de l'encombrement du réseau, des algorithmes de clustering ont été utilisés dans plusieurs solutions proposées existantes dans la littérature, telles qu'introduites dans la section 3.2. Clustering est un mécanisme de collecte de véhicules et d'autres nœuds sur la base de certains paramètres tels que l'ID de nœud, la position, la densité, la vitesse, le sens de nœuds et ainsi de suite [94]. Les structures de clustering présentent plusieurs avantages par rapport à une structure plate, comme la garantie de l'équilibrage de la charge du réseau, l'augmentation de la stabilité de la connectivité du réseau et la minimisation de la surcharge du réseau [95], [28]. Selon la littérature disponible, la plupart des algorithmes de clustering proposés [92], [82] se concentrent uniquement sur le clustering à un saut, qui permet uniquement la communication entre un membre de cluster et sa tête de cluster avec une distance d'un saut au maximum. Par conséquent, la zone de couverture est très petite et de nombreux clusters sont formés, ce qui affecte les performances du réseau et augmente le taux de chevauchement entre les clusters.

De plus, comme VANET est une sous-classe de MANET, plusieurs protocoles proposés sont dérivés de schémas de clustering MANET [94]. En conséquence, ces schémas ne prennent pas en compte les caractéristiques IoV telles que la mobilité élevée des nœuds, la topologie dynamique élevée et les directions de conduite limitées des nœuds. En outre, la plupart des protocoles de clustérisations proposés n'utilisent pas divers paramètres combinés, ce qui à son tour diminue la qualité de service du réseau. D'autres approches de clustering proposées sont basées sur un nombre élevé de messages de contrôle [96] [97], ce qui entraîne une surcharge des réseaux et conduit à de nombreuses collisions. Dans une situation d'urgence avec des vies humaines en jeu, le temps est un facteur critique sur le réseau où les messages d'alerte doivent être diffusés le plus rapidement possible pour éviter les blessures et les dommages.

Seulement si nous assurons une surcharge faible du réseau, une connectivité fiable et une communication mettre à jour du réseau que l'objectif d'un temps de réponse court peut être atteint.

Dans un travail [98], un nouveau algorithme de clustering basé sur le poids (WBCA) est introduit, où ils minimiseront la surcharge du réseau en utilisant une architecture hiérarchique (clusters) et maximiseront la qualité de service (temps de réponse court) en intégrant des paramètres sélectifs tels que le retard, la densité, vitesse et position pour sélectionner les têtes de cluster. La figure 3.1 montre la structure des clusters basés sur le réseau IoV.

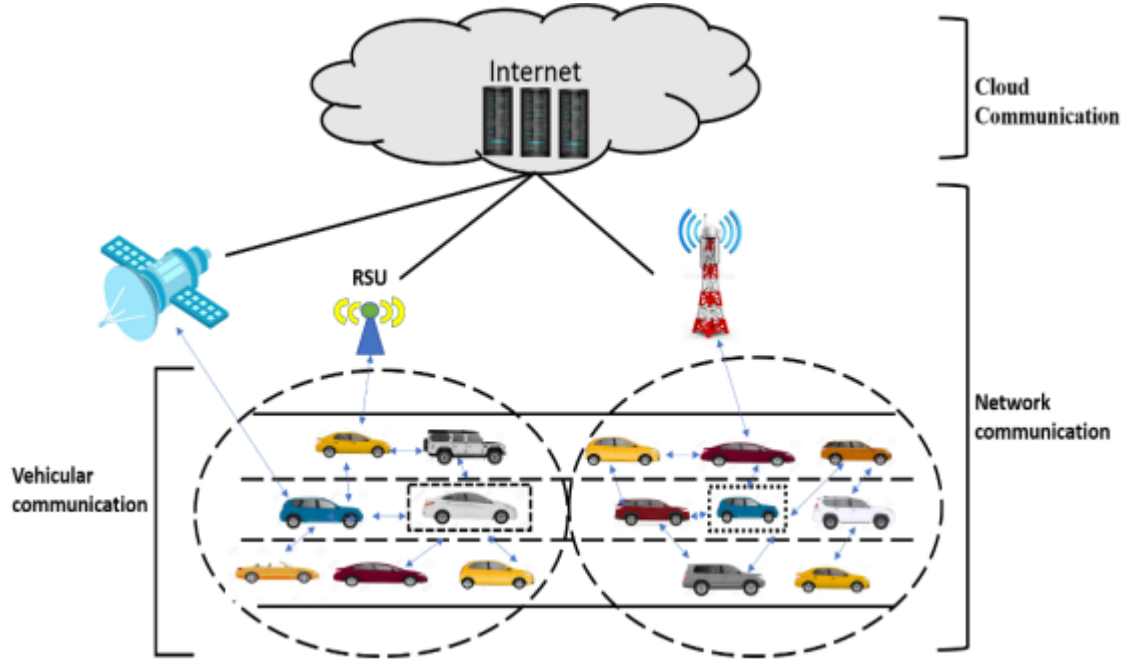


Figure.3.1. Structure de clusters basée sur le réseau IoV [91].

### 3.1.3 Paramètres utilisés

Afin d'assurer une connectivité robuste dans l'environnement IoV, nous utilisons quatre métriques qui ont une relation avec la connectivité des nœuds dans IoV, chaque paramètre est défini ci-dessous :

**Densité des nœuds (D):** La densité de nœuds ou degré de nœud ( $D_{v_i}$ ) du nœud  $v_i$  est défini par le nombre de liens entre le nœud  $v_i$  et ses voisins de distance  $k$ , où il est calculé par le rapport entre le nombre de liens et le nombre de nœuds dans un  $k$ -voisins.

$$D_{v_i} = \frac{|e=(a,b) \in E, a \in \{v, C(v_i)\} \mid b \in C(v_i)|}{dv_i} \quad (1)$$

Où,  $e$  représente un lien entre deux nœuds  $a$  et  $b$  à l'instant  $t$ ,  $E$  représente l'ensemble des liens entre nœuds,  $C(v_i)$  représente l'ensemble des  $k$ -voisins du nœud  $v_i$  et  $dv_i$  est le degré du nœud  $v_i$  (le nombre de nœuds dans son  $k$ -voisinage).

**Mobilité des nœuds (M):** La vitesse des véhicules est un facteur important qui indique la stabilité du cluster pour garantir une connectivité stable entre la tête du cluster et les membres du cluster. Nous



supposons que le véhicule qui a la vitesse la plus proche de ses voisins est le véhicule qui doit avoir une priorité élevée pour être sélectionné comme chef de groupe. Pour ça, nous avons utilisé la moyenne de vitesse pondérée exponentielle sur une période T, au lieu de la valeur instantanée.

$$S_{v_i}^n = (1 - \alpha)S_{v_i}^{n-1} + \alpha V_{v_i}^n \quad (2)$$

Où  $S_{v_i}^n$  désigne la vitesse moyenne pondérée exponentielle pour le nœud v,  $V_{v_i}^n$  dénotent la nouvelle valeur de la vitesse et  $S_{v_i}^{n-1}$  la vitesse moyenne pondérée exponentielle précédente du nœud  $v_i$ ,  $\alpha$  est le facteur de lissage  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Chaque nœud a besoin de savoir à quel point sa vitesse est proche des vitesses moyennes de ses voisins. Chaque nœud v calcule sa vitesse relative moyenne effective en fonction des vitesses moyennes de ses voisins. Pour le nœud  $v_i$  nous notons  $u_{v_i}$  la vitesse moyenne de ses voisins. Alors,  $u_{v_i}$  est calculé comme

$$u_{v_i} = \frac{\sum_{j=1}^N S_{v_j}}{N} \quad (3)$$

Où  $S_{v_j}$  est la vitesse de chaque voisin du nœud  $v_i$ , N est le nombre de voisins du nœud  $v_i$ . Ensuite, la différence de vitesse entre le nœud  $v_i$  et la vitesse moyenne de ses voisins peut être calculée comme

$$M_{v_i} = \left| \frac{S_{v_i} - u_{v_i}}{S_{max_{v_i}} - u_{v_i}} \right| \quad (4)$$

Où  $S_{max_{v_i}}$  dénote la vitesse maximale de ses voisins.

**Position du nœud (P):** La position du nœud est un autre facteur qui détermine la stabilité d'un cluster. Le nœud avec la distance la plus proche de ses voisins doit avoir la priorité élevée pour être sélectionné en tant que tête de cluster, car sa probabilité de quitter le cluster est faible. Soit  $(x_i, y_i)$  la coordonnée de position du nœud  $v_i$ ,  $(x_j, y_j)$  la coordonnée de position de tout voisin  $v_j$  du nœud  $v_i$ . Alors, la position moyenne des voisins du nœud  $v_i$  est :

$$x_i^u = \frac{\sum_{j=1}^N x_j}{N}, \quad y_i^u = \frac{\sum_{j=1}^N y_j}{N}.$$

Soit  $(x_i^{max}, y_i^{max})$  la position du nœud qui a la plus grande distance à la position moyenne des voisins du nœud  $v_i$ . Alors, la distance normalisée  $P_{v_i}$  du nœud  $v_i$  avec la position moyenne de ses voisins est

$$P_{v_i} = \frac{\sqrt{(x_i - x_i^u)^2 + (y_i - y_i^u)^2}}{\sqrt{(x_i^{max} - x_i^u)^2 + (y_i^{max} - y_i^u)^2}} \quad (5)$$

**Délai de nœud (DE):** Le retard ( $DE_{v_i}$ ) du nœud  $v_i$  est défini comme le temps moyen pris par un nœud  $v_i$  pour répondre aux demandes de ses voisins. Ici, nous distinguons quatre retards différents qui ont une relation avec le délai de transmission total et peuvent l'affecter qui sont:

**Délai de transmission (Td)**: c'est le temps nécessaire pour transmettre tous les bits du paquet dans la liaison. En d'autres termes, il est simplement temps de mettre des bits de données sur un support de communication. Ce paramètre dépend de deux facteurs qui sont la longueur du paquet (PL) et la bande passante du réseau (B).

$$T_d = PL/B \quad (6)$$

**Délai de mise en file d'attente (Qd)** : le délai de mise en file d'attente est le temps qu'une requête attend dans une file d'attente jusqu'à ce qu'elle puisse être exécutée. Cela dépend de la congestion. C'est la différence de temps entre le moment où le paquet est arrivé à la destination et le moment où les données du paquet ont été traitées ou exécutées. Cela peut être principalement dû à trois raisons, à savoir les commutateurs d'origine, les commutateurs intermédiaires ou les commutateurs de service du récepteur d'appel.

$$Q_d = (N - 1) L / (2 * R) \quad (7)$$

Où N est le nombre de paquets, L est la taille du paquet et R est la bande passante.

**Délai de propagation (Pd)**: est défini comme le temps mis par le premier bit pour voyager du nœud émetteur au nœud récepteur de la liaison. En d'autres termes, c'est simplement le temps nécessaire aux bits pour atteindre la destination à partir du point de départ. Le délai de propagation dépend de deux facteurs qui sont la distance (Ds) et la vitesse de transmission (Ts).

$$P_d = D_s / T_s \quad (8)$$

**Délai de traitement (Prd)** : est le temps nécessaire au nœud pour traiter l'en-tête du paquet. Le traitement des paquets aide à détecter les erreurs au niveau des bits qui se produisent lors de la transmission d'un paquet à la destination.

Le délai total (TD) est calculé comme suit:

$$T_D = T_d + Q_d + P_d + P_{rd} \quad (9)$$

Mais en réalité, le délai de traitement et le délai de propagation sont négligeables alors qu'à haute vitesse, les nœuds sont généralement de l'ordre de quelques microsecondes ou moins. Ainsi, la nouvelle formule du retard total sera calculée comme suit :

$$T_D = T_d + Q_d \quad (10)$$

Après le calcul de quatre métriques (D, M, P, DE), la valeur de poids  $W_v$  d'un nœud v est calculée comme suit:

$$W_v = \omega_1 \frac{1}{D_v} + \omega_2 M_v + \omega_3 P_v + \omega_4 DE_v \quad (11)$$

Où  $\omega_i$  sont les facteurs de pondération des métriques correspondantes et  $\sum \omega_i = 1$ .

### 3.1.4 Architecture du réseau

Dans cette partie, la proposition d'algorithme de clustering est présentée. Ce dernier est basé sur plusieurs métriques qui répondent aux exigences de qualité de service et garantissent une connectivité réseau stable et efficace. IoV est considéré comme un réseau à grande échelle et complexe où il est difficile pour un véhicule de recueillir des détails précis sur les nœuds multi-sauts et de décider quel CH choisira parmi les voisins multi-sauts. Un véhicule peut traiter les informations collectées et déterminer quel véhicule parmi ses nœuds voisins est le plus stable. Dans la littérature, dans la plupart des protocoles de clustering existants [82], [92], [72], [73] le CH est choisi sur la base des valeurs de poids à une distance de 1 saut et après le processus sera étendu pour assister à 2 sauts ou k-sauts voisins. L'utilisation d'une telle méthode pour former des clusters peut ne pas garantir une meilleure sélection de chefs de clusters. Ce processus d'élection se fait localement (1-hop) ce qui ne garantit pas que le reste des nœuds à k-hop sont excellents en termes de métriques utilisées. L'idée principale de ce travail est de collecter des informations sur les nœuds à une distance de k-hop dans un premier temps, la formation des clusters est basée sur des valeurs de poids calculées en fonction de la position, de la densité, de la mobilité et du retard qui assurent stabilité et qualité de service. Le nœud avec la valeur de poids la plus faible se sélectionne comme CH, puis il envoie un message « CH\_elect » pour informer ses voisins. Chaque nœud doit envoyer un message « Join Request » afin de rejoindre un cluster. On considère que tous les nœuds ont un même chronomètre synchronisé et un système de géolocalisation qui permet de connaître la position du véhicule. Nous supposons également que l'environnement de déploiement du réseau représente un environnement autoroutier composé de (3) trois voies de chaque côté et caractérisé par une densité élevée, une absence d'obstacles et une circulation de véhicules à grande vitesse. Nous utilisons trois types de messages : les messages d'information, les messages de contrôle utilisés pour la formation et la maintenance des clusters (Hello, CH\_elect, JOIN, ...) et les messages d'alerte. Le tableau 3.1 résume les types de messages utilisés dans cette proposition.

La topologie de réseau est organisée en clusters. Chaque nœud peut prendre l'un des états suivants : Non-Décidé, Chef de cluster, Passerelle, Nœud membre principal ou Nœud membre de marge. Initialement, tous les nœuds sont dans l'état Non décidé, au fur et à mesure que le temps avance, chaque nœud essaie de rejoindre un cluster en se trouvant dans l'un des quatre états cités ci-dessus.

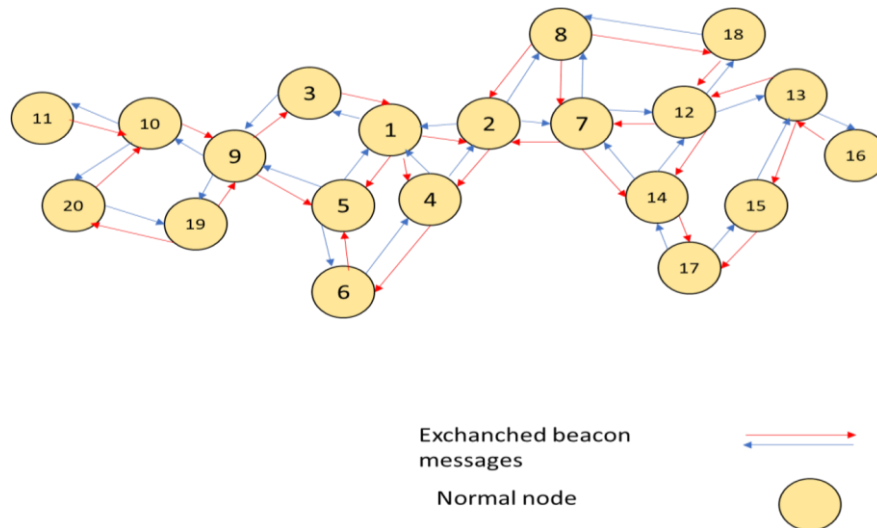
- **Non décidé (ND):** est le statut pris par un nœud dans sa phase initiale ou lorsqu'il abandonne son rôle de chef de cluster.
- **Chef de cluster (CH):** il est le coordinateur du groupe (cluster), son rôle est de communiquer des informations entre les nœuds d'un même cluster (communications intra-cluster), entre différents clusters (communications inter-cluster).
- **Passerelle:** est un nœud de relais, c'est le point d'accès commun à deux ou plusieurs chefs de cluster, lorsqu'un nœud appartient aux portées de transmission de deux ou plusieurs chefs de cluster.

- **Nœud de membre principal (CMN):** c'est un nœud ordinaire (pas une passerelle ou CH). Tous les CMN sont connectés à leur CH avec une distance de 1 saut ou plus.
- **Nœud de membre de marge (MMN):** c'est un nœud de membre central avec une distance de k-hop à la tête de cluster.

Types de messages	La description
Hello message	Mettre à jour les informations du réseau
weight-val	partager la valeur de poids calculée
<i>CH_elect ( )</i>	Partager le CH élu
Join Request message	Rejoindre un cluster
Join Accept message	Acceptation d'un nœud comme membre du cluster

**Tableau 3.1** Types de messages

- (1) **Phase initiale:** Cette phase présente la première étape lorsqu'aucun cluster n'a été mis en place dans le réseau. Initialement, chaque nœud obtient le statut initial Non-Décidé (ND). Tous les nœuds du réseau échangent périodiquement (à chaque intervalle de temps (TI)) des messages HELLO (beacon message) avec leurs voisins afin de les informer de leur présence et échanger avec eux les informations nécessaires telles que id, vitesse, coordonnées x et y comme le montre la figure 3.2. Ces informations leur permettent de calculer les valeurs des quatre paramètres. Après avoir reçu un message Hello qui comprend l'ID du nœud, l'état actuel, la vitesse, la position, chaque nœud met à jour toutes les informations nécessaires de ses voisins dans sa table de voisinage et recalcule sa valeur de poids (W) en utilisant les quatre paramètres mis à jour (densité, mobilité, position, retard).

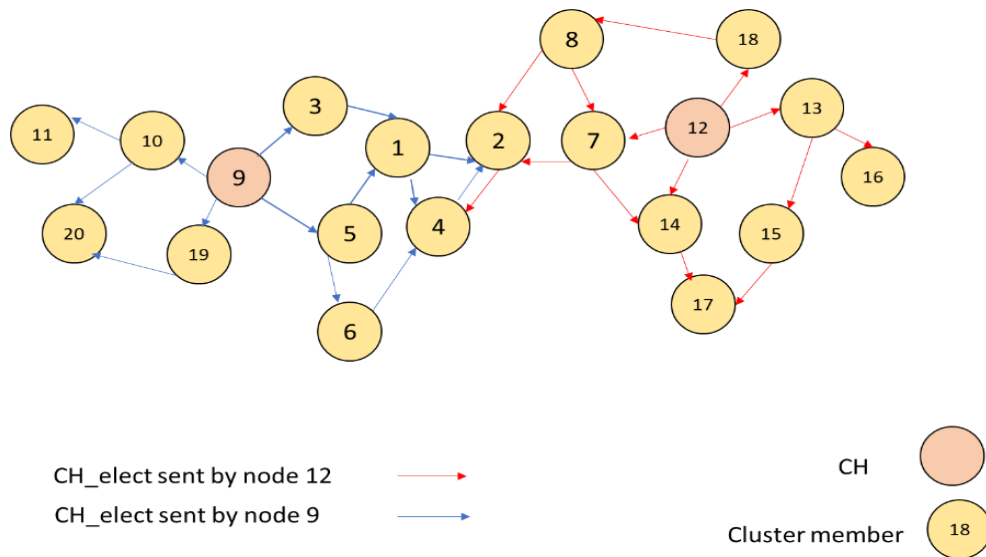


**Figure 3.2.** Processus d'échange de « Beacon message »

Algorithme 1: État\_initial\_du\_nœud ( $v_i$ )  
 Statut ( $v_i$ )  $\leftarrow$  ND  
 Attendez un message Bonjour  
 Recevoir (Bonjour)  
 Obtenir la position ( $P_v$ )  
 Obtenir la vitesse ( $S_v$ )  
 Tant que (TI pas expiré) faire  
   Calculer\_valeur\_densité ( $v_i$ )  
   Calculer\_valeur\_Mobilité ( $v_i$ )  
   Calculer\_valeur\_Position ( $v_i$ )  
   Calculer\_valeur\_Délai ( $v_i$ )  
   Calculer la valeur de poids  $W$  ( $v_i$ )  
 Mettre à jour la table de voisinage  
 Fin  
 Envoyer un message (poids-val) à ses k-voisins  
 Fin.

(2) **Processus de sélection des chefs de groupe.** Une fois que tous les nœuds de réseau sont détectés et que l'intervalle de temps (TI) expire, chaque nœud calcule sa valeur de poids à l'aide de l'équation (11) et la partage en diffusant un message de valeur de poids à ses k-voisins. Après réception du message (weight-val), le processus d'élection de tête de cluster est appelé. Chaque nœud compare sa valeur de poids ( $W$ ) aux valeurs de poids de tous ses nœuds voisins. Le nœud

avec la valeur de poids la plus faible se réfère à lui-même comme CH et envoie un message « CH\_elect » à ses voisins. Si plusieurs nœuds ont la même valeur la plus basse (W), dans ce cas, Le nœud qui a l'ID le plus bas est sélectionné comme CH. Après avoir sélectionné la tête de cluster, le CH élu partage son statut avec ses k-voisins en envoyant un message « CH\_elect » à tous les nœuds du réseau comme illustré à la Figure 3.3.



**Figure.3.3** Processus d'élection du chef de cluster

Algorithme 2 : Élection des chefs de cluster ( $V_i$ )

Recevoir (weight-val)

Pour ((tous  $V_j \in N(V_i)$ ) et ( $V_i \neq V_j$ )) faire

- Extraire et stocker les informations reçues des messages weight-val dans sa table de voisins.
- Compare les poids reçus de tous ses voisins K-hop avec sa propre valeur de poids.

Si ( $W(V_i)$  est minimum) alors

$V_i$  est élu comme CH

Statut ( $V_i$ ) = Cluster Head

Diffusion\_K-Voisins (CH\_elect ( $V_i$ ))

Sinon Si ( $dv_i > Idv_j$ ) alors

$V_j$  est élu comme CH, Statut ( $v_j$ ) = Cluster Head

Diffusion\_K-Neighbors (CH\_elect ( $V_j$ ))

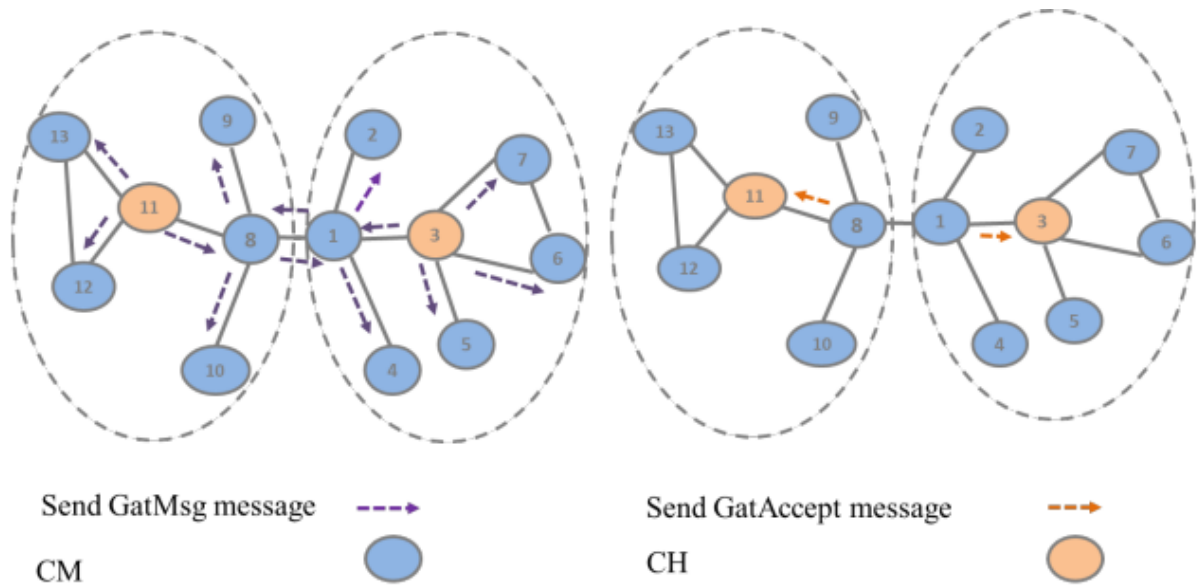
Sinon

$V_i$  attend la réception des messages CH\_elect envoyés par différents CH élus et choisit le CH qui a la valeur de poids la plus faible parmi eux

Fin Si

Fin pour

(3) **Election de la passerelle.** Chaque chef de cluster est responsable de sélectionner ses nœuds de passerelle. Les nœuds qui ont des états membres marginaux et qui appartiennent à des clusters différents sont des candidats pour être des nœuds de passerelle. La sélection du processus de nœud de passerelle est basée sur la valeur de mobilité reçue dans le message de demande de jointure. Le nœud qui a la plus faible valeur de mobilité  $M$  est sélectionné comme nœud passerelle. S'il y a plusieurs nœuds qui ont la même valeur de mobilité la plus basse  $M$ , le candidat de passerelle avec la valeur de poids ( $W$ ) la plus faible sera sélectionné. Si le problème n'est pas résolu, le nœud qui a la valeur d'ID la plus faible est élu. Ensuite, chaque CH forme son propre cluster comme illustré dans la figure 3.4.



**Figure .3.4** Processus de sélection de la passerelle[98]

Algorithme 3 : Algorithme d'élection des passerelles

Pour (chaque cluster) faire

Pour ((tous  $V_i \in \mathcal{C}(\text{CH } V_i)$ ) et (statut ( $V_i$ ) = membre de marge)) faire

Si ( $Mv_i$  est Minimum) alors

$g_i = V_i$

Statut ( $V_i$ ) = Passerelles.

Envoyer (Gateway-select) message au nœud sélectionné

Pour (((tous  $V_j \in (\text{CH } V_i)$ ) et ( Statut ( $V_j$ ) = membre de marge) et ( $V_i \neq V_j$ )) faire

Si ( $Mv_i = Mv_j$ ) alors

$\text{CH}_{V_i}$  choisit le nœud avec le poids le plus faible.

Si ( $Wv_i = Wv_j$ ) alors

$\text{CH}_{V_i}$  choisit le nœud avec le plus petit ID.

Fin Si

Fin Si

Fin pour

Fin Si

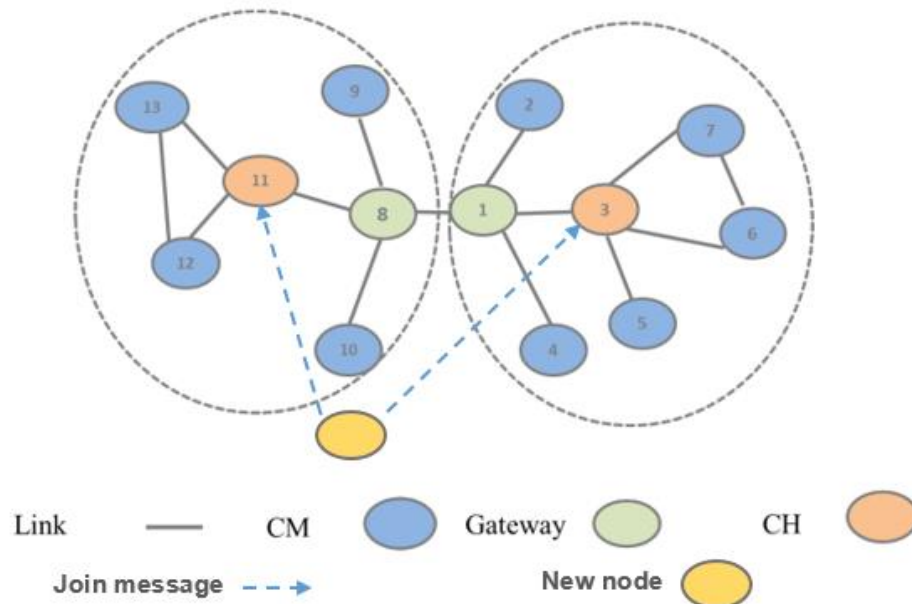
Fin pour

Fin pour

**(4) Processus de jointure de nœud de cluster.** A la réception des messages  $\text{CH\_elect}$  de différents CH, chaque nœud envoie un message de demande de jointure aux différents chefs de cluster comme illustre la figure 3.5. Le chef de cluster correspondant répond par un message d'acceptation, le nœud met à jour son statut en tant que membre principal ou membre de marge afin d'assumer son rôle en tant que membre du cluster et met à jour l'ID



de son CH. Si le nœud reçoit plusieurs messages Accept de ses CH voisins, il choisit le CH avec le poids le plus bas et il sauvegarde tous les identifiants des CH selon l'ordre de leurs valeurs de poids afin de les contacter par la suite au cas où le CH abandonnerait son rôle.



**Figure .3.5** Processus de jointure de nœud de cluster

#### Algorithme 4: Rejoindre le cluster

Pour (tout mobile  $V_i \in V$ ) et (Statut ( $V_i$ ) = non décidé) faire

-  $V_i$  envoie un message de demande au responsable de cluster correspondant pour rejoindre le cluster et attend une période  $T$  pour la réponse.

Si (aucune réponse n'arrive après temps  $T$ ) alors

-  $V_i$  augmente sa puissance de transmission pour atteindre plus des CHs.

-  $V_i$  envoie un message de demande aux autres chefs de cluster

Sinon

Si ( $V_i$  reçoit un message Join Accept) alors

-  $V_i$  rejoint le cluster correspondant et met à jour son statut au nœud membre (Core ou marge) et toutes les informations importantes.

Sinon

Si ( $V_i$  reçoit plus d'un message Join Accept) alors

Si (il y a plus d'un CH avec la même valeur de poids ( $W$ ) la plus basse) alors

-  $V_i$  rejoint le CH avec l'ID le plus bas et met à jour son statut au nœud membre (Core ou marge) et toutes les informations importantes.

Sinon

-  $V_i$  rejoint le CH avec la valeur de poids la plus faible ( $W$ ) et met à jour son statut au nœud membre (Core ou marge) et toutes les informations importantes.

Fin si fin si fin si fin si

Fin pour

**(5) Phase de maintenance Locale du cluster.** La phase de maintenance des clusters tente de mettre à jour et de s'adapter aux changements de topologie qui peuvent être provoqués par différents mouvements de nœuds. Dans notre solution proposée, il existe deux types d'événements distincts lorsque l'algorithme de maintenance de cluster est appliqué: le mouvement du nœud et le changement de valeur de poids chez le chef de cluster. Dans chaque événement, chaque nœud met à jour les informations requises.

- **Mouvement de nœud**

Un nœud du réseau a deux types de mouvement. Le premier lorsqu'il entre dans une plage d'un nouveau cluster, dans ce cas, le nouveau nœud envoie un message Join Request au chef de cluster correspondante en fonction des messages CH\_elect reçus et attend la réponse. Le deuxième type lorsqu'un nœud sort de la plage de communication de son CH, dans ce cas, le nœud concerné modifie son état en non décidé et tente de trouver un autre cluster à rejoindre. Dans les deux cas, le statut du nœud est mis à jour.

- **Changement de valeur de poids**

Le mouvement des nœuds peut changer la valeur de poids des nœuds en changeant leur (mobilité, densité, position). Dans cette solution proposée, la valeur de poids de chaque nœud est vérifiée périodiquement. Dans le cas où la valeur de poids d'un nœud membre devient inférieure à la valeur de poids de son chef de cluster, alors le processus de réélection d'un nouveau chef de cluster est appliqué localement. Le précédent CH devient un nœud membre et le nœud membre qui a la valeur de poids la plus faible devient un CH.

Algorithme 5 : Algorithme de maintenance de cluster local

```
Pour (tout active  $V_i \in V$ ) faire
  Si (Statut ( $V_i$ ) = CH et je veux abandonner) alors
    -  $V_i$  distribue un message de rôle abandonné aux membres de son cluster.
    -  $V_i$  change son statut en non-décidé et recherche un nouveau cluster pour le rejoindre.
    Pour (tout  $V_j \in N(V_i)$ ) faire
      -  $V_j$  modifie ses informations de cluster.
      -  $V_j$  appelle l'algorithme d'élection CH pour resélectionner un nouveau CH.
    Fin Pour
  Sinon
    Si (statut ( $V_i$ ) = membre principal ou statut ( $V_i$ ) = membre de marge Ou
      statut ( $V_i$ ) = passerelle et souhaitez quitter le cluster) alors
      -  $V_i$  envoie (move-message) à son CH.
      -  $V_i$  change son statut en non-décidé et recherche un nouveau cluster pour le rejoindre.
      Pour (tout  $V_j \in (V_i)$ ) faire
        Si (statut ( $V_j$ ) = Cluster Head) alors
          - Modifie les informations sur le nœud mobile.
          - informer les nœuds membres du nœud quittant en leur envoyant un message
            d'information.
            Si (statut ( $v_i$ ) = passerelles) alors
              - CH appelle l'algorithme d'élection de passerelle pour réélire une nouvelle
                passerelle.
            Fin Si
          Fin Si
        Sinon
          - Met à jour les informations relatives au nœud quittant.
          Fin Si
        Fin Pour
      Fin Si
    Fin Si
  Fin Pour
```

## 3.2 Protocole de routage RBDGR pour IOV

### 3.2.1 Introduction

La technologie Internet des véhicules (IoV) est un domaine émergent étendu et prometteur du paradigme bien connu du réseau ad hoc véhiculaire (VANET). Cette extension est la conséquence attendue de la transition du réseau Internet traditionnel vers l'Internet des objets (IoT). IoV a vocation à constituer une plateforme permettant d'une part des tâches de gestion de la sécurité des véhicules sur les routes et d'autre part d'offrir aux passagers l'accès à des objets localisés via le réseau IoT. Le réseau IoV est essentiellement formé de véhicules en tant que nœuds[11]. Dans un avenir proche, l'IoV permettant le paradigme du système de transport intelligent (ITS) subira un changement important lors de l'intégration des véhicules autonomes en tant que systèmes de plateforme intelligents et puissants. Tout cela générerait un énorme trafic de messages qui devrait être rigoureusement pris en compte afin d'assurer une livraison fiable des messages en temps réel. Par conséquent, l'acquisition d'informations utiles en temps opportun dans un environnement de

connectivité instable comme IoV est d'une importance primordiale lorsque la prise de décision est liée à des événements critiques. Par exemple, sauver des vies lors d'accidents dépend fortement des messages urgents envoyés et reçus par les services de secours [13].

De plus, la prévention des accidents en alertant les obstacles entravant la circulation routière nécessite des communications de liaison stables acheminant sûrement des messages d'urgence vers leurs destinations appropriées. Par conséquent, la vitesse élevée des véhicules affecte négativement les liaisons de communication des nœuds, ce qui entraîne des déconnexions fréquentes des liaisons. Le processus de routage des paquets est l'un des problèmes les plus difficiles dans le domaine des réseaux. Plusieurs méthodes ont été utilisées afin d'améliorer la QoS dans les protocoles de routage.

### 3.2.2 Motivation et approche de routage

Les VANETs peuvent être déployés dans trois environnements différents : autoroute, ville et rural. Dans les zones rurales, le réseau est peu peuplé et, par conséquent, la communication de véhicule à véhicule est confrontée au problème de l'instabilité des liaisons en raison des changements fréquents de topologie. L'environnement de la ville contient des carrefours et des obstacles sous la forme d'immeubles de grande hauteur. Les autoroutes ont une communication relativement meilleure car la plupart des véhicules se déplacent sur le même chemin ; aussi, il ne contient aucun obstacle. Dans les VANET, la conception d'un protocole de routage efficace pour des communications véhiculaires efficaces pose une série de défis techniques. La nécessité de concevoir des protocoles de routage efficaces et évolutifs pour VANET rend le choix de routage basé sur la position attrayant.

Plusieurs protocoles de routage unicast reposent sur une stratégie de transfert glouton basée sur la position pour fournir une communication véhicule à véhicule. Dans l'approche de routage basée sur la position, le mouvement des nœuds dans VANET est limité à la route. Par conséquent, le processus de routage utilisant les informations de localisation est logique. La principale condition préalable au routage basé sur la position est qu'un nœud expéditeur puisse obtenir sa position actuelle, celle des nœuds voisins ainsi que la destination via le service de localisation. Ainsi, les décisions de routage nécessitent des services de localisation tels que le dispositif Global Position System (GPS) pour déterminer la localisation des nœuds participants. Grâce à l'utilisation du GPS, chaque véhicule peut envoyer en continu des paquets avec ses informations de position. Les protocoles basés sur la position conviennent aux VANET car ils offrent un taux de livraison plus élevé que les protocoles de routage basés sur la topologie dans un environnement hautement mobile. Ils fournissent un délai minimum dans l'établissement de la route et offrent une bonne évolutivité par rapport aux protocoles de routage basés sur la topologie. Trois procédures reconnaissent le fonctionnement des protocoles de routage basés sur la position qui sont ; Sélection du chemin, mécanisme de transfert et stratégie de récupération. L'utilisation d'un algorithme de sélection de chemin n'est pas obligatoire dans le routage basé sur la position. Cet algorithme peut être utilisé avec le protocole de routage s'il lui présente plus d'avantages. D'un autre côté, si l'algorithme de sélection de chemin n'est pas utilisé, il n'y aura pas de sur-débit supplémentaire mais la confusion des paquets peut se produire [99]-[100]. Il existe plusieurs stratégies de transfert de paquets utilisées pour les protocoles basés sur la position, à savoir. Le transfert basé sur la trajectoire, le transfert basé sur les conflits, le transfert opportuniste, le transfert gourmand et le transfert hybride. La préoccupation de ce travail est le mécanisme de retransmission gourmande ou encore le transfert glouton ou encore le Greedy Forwarding. Il existe trois principales stratégies de transfert glouton : l'approche gloutonne traditionnelle, gloutonne améliorée et gloutonne restreinte. La plupart des protocoles actuels basés sur la position utilisent un

mécanisme de transfert glouton pour acheminer les paquets d'une source à la destination. Lors de l'application d'un algorithme glouton, un véhicule source inclut la position de destination du paquet de données et sélectionne le prochain saut en fonction des critères optimisés de l'algorithme ; par exemple le voisin le plus proche de la destination. De même, chaque véhicule intermédiaire sélectionne un véhicule de saut suivant jusqu'à ce que le paquet atteigne la destination. Pour ce faire, les véhicules doivent être capables de diffuser périodiquement de petits paquets (appelés balises ou encore beacons) avec une gigue aléatoire pour annoncer leur position et permettre aux autres véhicules de maintenir une table de voisins à un saut. Avec une grande mobilité dans VANET, la fréquence de balisage (beaconing) peut être adaptée au degré de mobilité. Même si, un problème fondamental d'informations de position inexactes est toujours présent dans VANET. Un véhicule voisin sélectionné comme tronçon (next-hop) suivant peut ne plus être à portée de transmission. Cela conduit à une diminution significative du taux de livraison des paquets. Pour améliorer la précision des informations de position, il est possible d'augmenter la fréquence de balisage. Cependant, le balisage périodique crée beaucoup de probabilité de collision de congestion. La stratégie de récupération définit les actions qu'un nœud doit effectuer lorsqu'il n'a aucun voisin répondant aux critères de transfert. Sur la base des méthodes de récupération, les protocoles de routage basés sur la position sont subdivisés en réseau à tolérance de retard (DTN), réseau à tolérance de retard (non DTN) et hybride [99]-[100]

Les protocoles de routage basé sur la position de Greedy Forwarding peuvent être déployés dans deux environnements différents : autoroute, ville [46]. Dans ce travail nous intéressons à l'environnement autoroutier.

### 3.2.3 Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR)

C'est une approche de routage glouton fiable basée sur la position qui utilise la position, la vitesse, la direction du mouvement et la stabilité de la liaison de leurs voisins pour sélectionner le prochain nœud de transfert le plus approprié. Il obtient la position, la vitesse et la direction de ses nœuds voisins à partir du GPS. Si le voisin avec la plus grande progression vers le nœud de destination à une vitesse élevée, par rapport au nœud source ou au nœud intermédiaire de transmission de paquets, alors la probabilité de perte de paquets est augmentée. Afin d'améliorer le protocole RDGR et d'augmenter sa fiabilité, la stratégie proposée introduit de nouvelles métriques pour éviter la perte de paquets. L'expéditeur de paquets ou le nœud de transfert sélectionne les nœuds voisins qui progressent vers le nœud de destination à l'aide du vecteur de vitesse et vérifie la stabilité de la liaison de ces nœuds. Enfin, il sélectionne l'un d'entre eux qui a la plus grande stabilité de liaison et lui envoie un paquet. Il utilise des métriques combinées de distance, de vitesse, de direction et de stabilité de liaison pour décider à quel voisin le paquet donné doit être transmis. Contrairement à la DGR, cette approche utilise non seulement les informations de position, de vitesse et de direction du mouvement du voisin à un saut, elle prend également en compte la position, la vitesse, la direction du mouvement et la stabilité de la liaison de tous les voisins. Cette approche de routage intègre une stratégie potentielle basée sur le score même concept que le protocole RDGR mais avec des modifications au niveau des paramètres utilisées, qui réduit les ruptures de liaison, améliore la fiabilité de la route et améliore le taux de livraison des paquets.

### 3.2.3.1 Hypothèses

La conception de l'algorithme est basée sur les hypothèses suivantes : Tous les nœuds sont équipés de récepteurs GPS, de cartes numériques, de capteurs en option et d'unités embarquées (OBU). Les informations de localisation de tous les véhicules/nœuds peuvent être identifiées à l'aide de récepteurs GPS. La puissance du nœud n'est pas le facteur limitant pour la conception. La portée de transmission maximale (MTR) de chaque nœud dans l'environnement est de 250 m.

### 3.2.3.2 Paramètres utilisés

**Vitesse du nœud** : la vitesse du nœud (S) est la différence entre la vitesse actuelle du nœud et la vitesse du nœud voisin.

$$S_a(x) = |V_a - V_x|/10$$

Où  $V_a$  est la vitesse du nœud a et  $V_x$  est la vitesse de son voisin x. Notons que si  $V_a = V_x$  on prendra  $S_a(x) = 10^{-4}$  ce qui signifie une connectivité longue.

**Stabilité du lien** : Pour identifier la stabilité du chemin, nous devons connaître la stabilité des liens individuels le long du chemin. Nous définissons la stabilité du lien en termes de temps d'expiration du lien, ce qui signifie le temps maximum de connectivité entre deux nœuds voisins. Afin de calculer le temps d'expiration du lien, nous supposons que les paramètres de mouvement de deux voisins quelconques sont connus.

Soit  $n_1$  et  $n_2$  deux nœuds dans la plage de transmission R et  $x_1, y_1$  et  $x_2, y_2$  les coordonnées des nœuds  $n_1$  et  $n_2$  avec la vitesse  $v_1$  et  $v_2$ . Pour le temps t, soit  $d_1$  et  $d_2$  la distance parcourue par les nœuds  $n_1$  et  $n_2$ .

Formule de calcul de  $d_1$  et  $d_2$  :

$$d_1 = V_1 * t$$

$$d_2 = V_2 * t$$

Formule de calcul de la distance entre deux nœuds à l'instant t :

$$D = \sqrt{\{(x_1 - x_2) + (d_1 - d_2)\}^2 + \{(y_1 - y_2) + (d_1 - d_2)\}^2}$$

Formule de calcul de la stabilité du lien entre deux nœuds à l'instant t :

$$LS = R/D$$

**Calcul du score potentiel** : Le score potentiel (PS) est calculé pour identifier la proximité du prochain saut à la destination, la direction du mouvement des nœuds et la fiabilité des nœuds voisins. Le nœud approprié avec le score potentiel le plus élevé sera considéré comme ayant un potentiel plus élevé pour atteindre le nœud de destination et ce nœud particulier peut être choisi comme prochain saut pour transmettre le paquet au nœud de destination. La métrique basée sur le score potentiel (PS) intègre les paramètres de vitesse de nœud (S) et de stabilité de liaison (LS) mentionnés ci-dessus.

La valeur PS est calculée comme suit :

$$PS = LS * S$$

MTR: portée de transmission maximale = 250m

Current\_node : le nœud du transporteur de paquets

Distination\_node: nœud de destination du paquet

D: distance entre deux nœuds

S(x): la différence entre la vitesse actuelle du nœud et la vitesse du nœud voisin.

$V_c$  : vecteur vitesse pour le nœud actuel

$D_c$  : distance la plus courte entre le nœud de transfert de paquets C et la destination D

$V_c \leftarrow \text{getSpeed}(\text{Current\_node})$

$D_c = \text{distance}(\text{Current\_node}, \text{distination\_node})$

best\_PSi = 0,

Pour tous les voisins de Current\_node faire

$V_i \leftarrow \text{getSpeed}(\text{neigh\_i})$

$D_i = \text{distance}(\text{distination\_node}, \text{neigh\_i})$

$D_{Ci} = \text{distance}(\text{Current\_node}, \text{neigh\_i})$

Si ( $D_{Ci} < \text{MTR}$ ) alors

$LS_i(x) = \text{MTR}/D_{Ci}$

$S_i(x) = |V_c - V_i|/10$

$PS_i = LS_i(x) * S_i(x)$

Si ( $PS_i > \text{best\_PS}_i$ ) alors

$\text{Best\_PS}_i \leftarrow PS_i$

$\text{NextHop} \leftarrow \text{neigh\_i}$

Fin Si

Sinon

$\text{NextHop} \leftarrow \text{Current\_node}$

Fin Si

Fin Pour

Pseudo code de l'algorithme RBDGR

### 3.3 Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering

#### 3.3.1 Motivation et approche de routage basé sur le clustering

Les auteurs de [101] ont proposé un protocole de routage directionnel basé sur un cluster (CBDRP) dans VANET, le réseau est divisé en plusieurs clusters en fonction du paramètre de direction, où les véhicules partageant la même direction sont regroupés dans un groupe, et chaque groupe élit son Chef de groupe (CH). Pendant la transmission de données, le nœud source envoie un paquet au CH de son propre cluster, et le CH transmet le paquet au CH du cluster de destination. Enfin, le CH de destination envoie le paquet de données au nœud de destination. L'algorithme sélectionne le meilleur chemin en fonction du vecteur de direction de transmission des paquets de données et du vecteur de vitesse. Cependant, le protocole proposé n'a pris en compte aucun facteur de qualité de service en terme de transmission de données comme la bande passante ou le délai ce qui confirme qu'il n'est pas adaptatif avec les applications multimédia. Le travail présenté dans [102] propose un algorithme de clustering heuristique basé sur Road Side Unit (RSU) pour IoV. Les auteurs de cette proposition suggèrent de centraliser l'algorithme de clustering au niveau des RSU distribuées et de leur confier la responsabilité d'effectuer la phase de formation des clusters en utilisant les concepts de la théorie des graphes (degré de nœud et matrice d'adjacence). L'algorithme proposé n'améliore pas la qualité des liens entre les CH et les membres de leur cluster et ne montre aucun facteur utilisé pour trouver le meilleur itinéraire vers un CH. Dans [103], les auteurs suggèrent d'utiliser les routes Bus Node (BN) comme référence pour collecter les traces de déplacement des nœuds (bus, véhicules...) et sélectionner les CH appropriés. Ces pistes sont utilisées afin de calculer le temps de contact entre un nœud et un BN en fonction de l'heure d'entrée dans le rayon de la zone BN (temps de rencontre) et de l'heure de départ du BN. Le temps de contact représente la dépendance spatiale et temporelle au sein de la région et utilisé pour augmenter la stabilité des clusters. Les auteurs ont proposé une nouvelle idée en utilisant des routes BN et ils supposent que la stabilité des clusters dépend du temps de contact calculé. Cependant, le processus d'élection des chefs de cluster est basé uniquement sur l'heure de rencontre et l'heure de départ et aucun autre paramètre n'est utilisé. Ces deux paramètres ne suffisent pas à garantir un schéma de clustering stable notamment dans le réseau de véhicules.

Les protocoles de routage basés sur des clusters se sont avérés plus avantageux que les protocoles de routage plats car ils garantissent une surcharge moindre, une évolutivité et un débit plus élevés, et une meilleure utilisation de la capacité du système en raison de meilleures performances dans le contexte de la couche MAC [104]. Au niveau de la couche réseau, le clustering réduit la taille de la table de routage et diminue la surcharge de transmission résultant de la mise à jour des tables de routage suite à des changements topologiques fréquents par rapport aux protocoles proactifs [62]. Bien que chaque nœud ne stocke qu'une fraction des informations de routage réseau totales, le clustering est capable d'obtenir des informations de topologie en agrégeant les informations des nœuds actuels. Par conséquent, le clustering peut être envisagé pour créer des schémas de communication plus évolutifs et stables [105]. Grâce à l'architecture IoV, chaque véhicule peut être connecté à : une infrastructure existante, un capteur, un autre véhicule, un appareil personnel, etc. Les différents types de connexion dans IoV permettent au réseau d'être très interactif et évolutif et nécessitent une structure stable pour le gérer. Dans notre travail proposé, les nœuds sont organisés en clusters. Chaque cluster est contrôlé par un Cluster Head (CH) chargé : d'offrir des services à ses



membres de cluster, de collecter des informations à partir du réseau (serveurs mobiles), de partager des informations avec d'autres serveurs, etc. Les membres du cluster peuvent également échanger des informations de route entre eux. Dans cette proposition, nous sommes intéressés à assurer une connexion robuste et une haute qualité de service pour les utilisateurs du réseau en trouvant des routes stables entre les membres du cluster et entre les clusters, par le fait de trouver et de sélectionner les meilleurs itinéraires entre les chefs de cluster, entre les CH et les membres du cluster, et entre les membres d'un cluster pour assurer une distribution géographique des données dans l'IOV et donc bien gérer les données dans des zones géographiques larges. Pour faire face aux points faibles cités ci-dessus et afin de minimiser le surcoût du réseau, nous proposons un nouveau protocole de communication nommé : Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering. La proposition est spécifiquement adaptée à l'architecture IoV avec une gestion hiérarchique des communications permettant une connectivité intelligente. Le réseau est donc organisé en clusters. Un cluster comprend un ensemble de nœuds (véhicules) en tant que membres du cluster et chaque cluster est géré par un chef de cluster (CH) élu par ses pairs. Ce travail est divisé en deux; d'abord, en utilisant l'algorithme de clustering pour organiser le réseau comme il est expliqué par détail dans la section 3.1. Deuxièmement, en utilisant le protocole BRDGE pour acheminer les paquets entre les différents membres du réseau comme il est expliqué par détail dans la section 3.2.

### 3.4 Conclusion



## Implémentation et Résultats

## 4.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation de l'environnement de développement en premier lieu, en deuxième lieu nous présentons les différents résultats numériques obtenus afin d'évaluer la performance de notre approche.

## 4.2 Implémentation

### 4.2.1 Environnement matériel

Nous avons implémenté notre modèle sur un PC ASUS ayant les caractéristiques suivantes :

- Processeur: Intel(R) Core(TM) i5-5200U CPU @ 2.20GHz 2.20 GHz
- RAM : 8.00 GB
- Carte graphique : NVIDIA
- Système Exploitation : Windows 10 Pro.

### 4.2.2 Environnement logiciel

## 4.3 Experimentations

## 4.4 Conclusion

---

### *Conclusion générale*

---

De nos jours Le déploiement de réseaux de communication véhiculaires apparaît comme une solution pertinente pour assurer la sécurité des usagers de la route et fluidifier le trafic routier. En effet, les réseaux véhiculaires rendent possible le déploiement de Systèmes de Transport Intelligents coopératifs (C-ITS). Grâce aux applications ces systèmes, les véhicules pourraient échanger des informations concernant, par exemple, l'état de la chaussée ou un freinage d'urgence. Le fonctionnement de nombreuses applications C-ITS repose sur la distribution géographique des données : téléchargement coopératif, détection d'obstacles, création de cartes coopérative, etc. A ce moment-là, la distribution de ces informations s'est principalement basée sur des communications directes entre véhicules (véhicule-à-véhicule) principalement dans les VANETs. Toutefois, cette approche présente des limites lorsque les données doivent être transmises dans des zones géographiques vastes : perte de connectivité, perte de paquets, etc. Aussi, dans ce sujet, nous sommes intéressés à la définition d'une solution efficace pour la distribution géographique de données.

Afin de permettre une distribution géographique de données efficace dans l'Internet des Véhicules, les travaux menés dans le cadre de cette mémoire de recherche ont visé à offrir une solution aux problèmes identifiés ci-dessus. Pour mettre en œuvre notre approche, tout d'abord un Algorithme de clustering basé sur l'information géographique (GICA) ensuite un protocole de routage glouton directionnel équilibré et fiable (RBDGR) et finalement une approche de routage combinée dans laquelle on a combinée GICA et RBDGR pour avoir un nouveau protocole nommé « Reliable Balanced Directional Greedy Routing (RBDGR) basé sur le clustering » ont été introduit.

Les résultats indiquent....

Comme perspectives....

---

---

---

### Bibliographie:

---

- [1] "Number of vehicles in use worldwide 2015," *Statista*.  
<https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/> (accessed May 27, 2021).
- [2] L. Ang, K. Seng, G. Ijamaru, and M. Adamu, "Deployment of IoV for Smart Cities: Applications, Architecture and Challenges," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 6473–6492, Dec. 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2887076.
- [3] F. Cunha *et al.*, "Data communication in VANETs: Protocols, applications and challenges," *Ad Hoc Netw.*, vol. 44, pp. 90–103, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.adhoc.2016.02.017.
- [4] S. H. Shah and I. Yaqoob, "A survey: Internet of Things (IoT) technologies, applications and challenges," in *2016 IEEE Smart Energy Grid Engineering (SEGE)*, Aug. 2016, pp. 381–385. doi: 10.1109/SEGE.2016.7589556.
- [5] Sushma. U. Bhoover, A. Tugashetti, and P. Rashinkar, "V2X communication protocol in VANET for co-operative intelligent transportation system," in *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, Feb. 2017, pp. 602–607. doi: 10.1109/ICIMIA.2017.7975531.
- [6] O. Kaiwartya *et al.*, "Internet of Vehicles: Motivation, Layered Architecture Network Model Challenges and Future Aspects," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 5356–5373, Sep. 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2603219.
- [7] K. M. Alam, M. Saini, and A. El Saddik, "Toward Social Internet of Vehicles: Concept, Architecture, and Applications," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 343–357, Jan. 2015, doi: 10.1109/ACCESS.2015.2416657.
- [8] "VANET | Wiley Online Books."  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470740637> (accessed May 29, 2021).
- [9] "Software defined Internet of vehicles: architecture, challenges and solutions."  
<http://www.infocomm-journal.com/jcin/EN/10.11959/j.issn.2096-1081.2016.002> (accessed May 28, 2021).
- [10] S. Al-Sultan, M. M. Al-Doori, A. H. Al-Bayatti, and H. Zedan, "A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network," *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 37, pp. 380–392, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.jnca.2013.02.036.
- [11] "Internet of Vehicles: Architecture, Protocols, and Security | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/7892008> (accessed May 28, 2021).
- [12] R. Buyya and A. V. Dastjerdi, *Internet of Things: Principles and Paradigms*. Elsevier, 2016.
- [13] "Full article: A seven-layered model architecture for Internet of Vehicles."  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24751839.2017.1295601> (accessed May 28, 2021).

- [14] R. Gasmi and M. Aliouat, "Vehicular Ad Hoc NETWORKS versus Internet of Vehicles - A Comparative View," *undefined*, 2019, Accessed: May 28, 2021. [Online]. Available: /paper/Vehicular-Ad-Hoc-NETworks-versus-Internet-of-A-View-Gasmi-Aliouat/03e1718af4909db6668d87077d3d0e2498f30670
- [15] E. Khorov, A. Lyakhov, A. Krotov, and A. Guschin, "A survey on IEEE 802.11 ah: An Enabling Networking Technology for Smart Cities," *Comput. Commun.*, vol. 58, pp. 53–69, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.comcom.2014.08.008.
- [16] J. Jakubiak and Y. Koucheryavy, "State of the art and research challenges for VANETs," *5th IEEE Consum. Commun. Netw. Conf. CCNC 2008 January 10-12 Las Vegas Nev. USA*, pp. 912–916, 2008, doi: 10.1109/ccnc08.2007.212.
- [17] C. Bisdikian, "An overview of the Bluetooth wireless technology," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 39, no. 12, pp. 86–94, Dec. 2001, doi: 10.1109/35.968817.
- [18] H.-M. Tsai, O. K. Tonguz, C. Saraydar, T. Talty, M. Ames, and A. Macdonald, "Zigbee-based intra-car wireless sensor networks: a case study," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 6, pp. 67–77, Dec. 2007, doi: 10.1109/MWC.2007.4407229.
- [19] M. Sookhak, A. Gani, and R. Buyya, "A survey on vehicular cloud computing," *J. Netw. Comput. Appl.*, p. 20, 2014.
- [20] "An overview of Internet of Vehicles | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/6969789> (accessed Jun. 26, 2021).
- [21] H. Kowshik, D. Caveney, and P. R. Kumar, "Provable Systemwide Safety in Intelligent Intersections," p. 31.
- [22] K. A. H. J Keshavarzi P. ,Koozehkanani Z. D. ,Sobhi, "[ 'Acquiring real time traffic information using VANET and dynamic route guidance' ]." <https://sciexplore.ir/Documents/Details/943-959-966-954> (accessed Jun. 26, 2021).
- [23] G. Karagiannis *et al.*, "Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 13, no. 4, pp. 584–616, Fourth 2011, doi: 10.1109/SURV.2011.061411.00019.
- [24] M. Behrisch, L. Bieker, J. Erdmann, and D. Krajzewicz, "SUMO - Simulation of Urban MObility An Overview," *undefined*, 2011, Accessed: May 28, 2021. [Online]. Available: /paper/SUMO-Simulation-of-Urban-MObility-An-Overview-Behrisch-Bieker/4fd72cf38d951b2ae92fb1d9b705111335ef84ce
- [25] F. K. Karnadi, Z. H. Mo, and K. Lan, "Rapid Generation of Realistic Mobility Models for VANET," in *2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Mar. 2007, pp. 2506–2511. doi: 10.1109/WCNC.2007.467.
- [26] "A survey on data dissemination in vehicular ad hoc networks - ScienceDirect." <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214209614000448> (accessed Sep. 14, 2021).
- [27] J. Cheng, J. Cheng, M. Zhou, F. Liu, S. Gao, and C. Liu, "Routing in internet of vehicles: A review," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 5, pp. 2339–2352, Oct. 2015, doi: 10.1109/TITS.2015.2423667.
- [28] M. S. Rayeni and A. Hafid, "Routing in heterogeneous vehicular networks using an adapted software defined networking approach," in *2018 Fifth International Conference on Software Defined Systems (SDS)*, Apr. 2018, pp. 25–31. doi: 10.1109/SDS.2018.8370418.
- [29] M. Altayeb and I. Mahgoub, "A Survey of Vehicular Ad hoc Networks Routing Protocols," *undefined*, 2013, Accessed: Sep. 14, 2021. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-Survey-of-Vehicular-Ad-hoc-Networks-Routing-Altayeb-Mahgoub/75b5af43a39c046f8f7c4a950d7fb3c6bc3dc1bb>

- [30] M. K. Marina and S. R. Das, "On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks," in *Proceedings Ninth International Conference on Network Protocols. ICNP 2001*, Nov. 2001, pp. 14–23. doi: 10.1109/ICNP.2001.992756.
- [31] C. E. Perkins and E. M. Royer, "Ad-hoc on-demand distance vector routing," in *Proceedings WMCSA'99. Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, USA, 1999, pp. 90–100. doi: 10.1109/MCSA.1999.749281.
- [32] Y. Chen, Z. Xiang, W. Jian, and W. Jiang, "A Cross-Layer AOMDV Routing Protocol for V2V Communication in Urban VANET," *2009 Fifth Int. Conf. Mob. Ad-Hoc Sens. Netw.*, 2009, doi: 10.1109/MSN.2009.30.
- [33] B. Jarupan and E. Ekici, "A survey of cross-layer design for VANETs," *Ad Hoc Netw.*, vol. 9, pp. 966–983, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.adhoc.2010.11.007.
- [34] N. Beijar, P. O. Box, and N. Beijar, "Zone Routing Protocol (ZRP)," p. 12.
- [35] "The performance of query control schemes for the zone routing protocol | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/944341> (accessed Sep. 14, 2021).
- [36] V. D. Park and M. S. Corson, "A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks," in *Proceedings of INFOCOM '97*, Kobe, Japan, 1997, vol. 3, pp. 1405–1413. doi: 10.1109/INFCOM.1997.631180.
- [37] B. Karp and H. T. Kung, "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks," in *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*, New York, NY, USA, Aug. 2000, pp. 243–254. doi: 10.1145/345910.345953.
- [38] "Geographic routing in city scenarios | ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review." <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1055959.1055970> (accessed Sep. 14, 2021).
- [39] C. Lochert, H. Hartenstein, J. Tian, H. Fussler, D. Hermann, and M. Mauve, "A routing strategy for vehicular ad hoc networks in city environments," in *IEEE IV2003 Intelligent Vehicles Symposium. Proceedings (Cat. No.03TH8683)*, Jun. 2003, pp. 156–161. doi: 10.1109/IVS.2003.1212901.
- [40] K. C. Lee, J. Haerri, U. Lee, and M. Gerla, "Enhanced Perimeter Routing for Geographic Forwarding Protocols in Urban Vehicular Scenarios," in *2007 IEEE Globecom Workshops*, Nov. 2007, pp. 1–10. doi: 10.1109/GLOCOMW.2007.4437832.
- [41] "A-STAR: A Mobile Ad Hoc Routing Strategy for Metropolis Vehicular Communications | SpringerLink." [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24693-0\\_81](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-24693-0_81) (accessed Sep. 14, 2021).
- [42] K. C. Lee, M. Le, and M. Gerla, "LOUVRE: Landmark overlays for urban vehicular routing environments," in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*, 2008, pp. 1–5.
- [43] "VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/4773242> (accessed Sep. 14, 2021).
- [44] J. Gong, C.-Z. Xu, and J. Holle, "Predictive Directional Greedy Routing in Vehicular Ad hoc Networks," in *27th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'07)*, Jun. 2007, pp. 2–2. doi: 10.1109/ICDCSW.2007.65.
- [45] R. Kumar and S. V. Rao, "Directional Greedy Routing Protocol (DGRP) in Mobile Ad-Hoc Networks," in *2008 International Conference on Information Technology*, Dec. 2008, pp. 183–188. doi: 10.1109/ICIT.2008.28.
- [46] M. Shugran, *Applicability of overlay non-delay tolerant position-based protocols in highways and urban environments for vanet*. 2021.
- [47] Y. Ding, C. Wang, and L. Xiao, "A static-node assisted adaptive routing protocol in vehicular networks," in *Proceedings of the fourth ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks*, New York, NY, USA, Sep. 2007, pp. 59–68. doi: 10.1145/1287748.1287758.



- [48] G. Li and L. Boukhatem, "Adaptive Vehicular Routing Protocol Based on Ant Colony Optimization," Taipei, Taiwan, Jun. 2013. Accessed: Sep. 14, 2021. [Online]. Available: <https://hal.inria.fr/hal-00953653>
- [49] Y.-L. Hsieh and K. Wang, "A road-based QoS-aware multipath routing for urban vehicular ad hoc networks," *2012 IEEE Glob. Commun. Conf. GLOBECOM*, 2012, doi: 10.1109/GLOCOM.2012.6503111.
- [50] V. Naumov and T. Gross, "Connectivity-Aware Routing (CAR) in Vehicular Ad-hoc Networks," *IEEE INFOCOM 2007 - 26th IEEE Int. Conf. Comput. Commun.*, 2007, doi: 10.1109/INFCOM.2007.223.
- [51] J. Zhao and G. Cao, "Guohong, C.: VADD: Vehicle-Assisted Data Delivery in Vehicular Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 57(3), 1910-1922," *Veh. Technol. IEEE Trans. On*, vol. 57, pp. 1910–1922, Jun. 2008, doi: 10.1109/TVT.2007.901869.
- [52] H. Saleet, R. Langar, K. Naik, R. Boutaba, A. Nayak, and N. Goel, "Intersection-Based Geographical Routing Protocol for VANETs: A Proposal and Analysis," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 9, pp. 4560–4574, Nov. 2011, doi: 10.1109/TVT.2011.2173510.
- [53] Y. Sun, S. Luo, Q. Dai, and Y. Ji, "An Adaptive Routing Protocol Based on QoS and Vehicular Density in Urban VANETs," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 11, no. 6, p. 631092, Jun. 2015, doi: 10.1155/2015/631092.
- [54] Z. Mo, H. Zhu, K. Makki, and N. Pissinou, "MURU: A Multi-Hop Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks," *2006 Third Annu. Int. Conf. Mob. Ubiquitous Syst. Netw. Serv.*, 2006, doi: 10.1109/MOBIQ.2006.340406.
- [55] J. Luo, X. Gu, T. Zhao, and W. Yan, "A Mobile Infrastructure Based VANET Routing Protocol in the Urban Environment," in *2010 International Conference on Communications and Mobile Computing*, Apr. 2010, vol. 3, pp. 432–437. doi: 10.1109/CMC.2010.113.
- [56] C. E. Perkins and P. Bhagwat, "Highly dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers," *ACM SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, vol. 24, no. 4, pp. 234–244, Oct. 1994, doi: 10.1145/190809.190336.
- [57] V. Naumov, R. Baumann, and T. Gross, "An evaluation of inter-vehicle ad hoc networks based on realistic vehicular traces," in *Proceedings of the 7th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing*, New York, NY, USA, May 2006, pp. 108–119. doi: 10.1145/1132905.1132918.
- [58] I. Leontiadis and C. Mascolo, "GeOpps: Geographical Opportunistic Routing for Vehicular Networks," in *2007 IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*, Espoo, Finland, Jun. 2007, pp. 1–6. doi: 10.1109/WOWMOM.2007.4351688.
- [59] H. Füßler, J. Widmer, M. Käsemann, M. Mauve, and H. Hartenstein, "Contention-based forwarding for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 1, no. 4, pp. 351–369, Nov. 2003, doi: 10.1016/S1570-8705(03)00038-6.
- [60] M. Chawla, N. Goel, K. Kalaichelvan, A. Nayak, and I. Stojmenovic, "Beaconless Position Based Routing with Guaranteed Delivery for Wireless Ad-Hoc and Sensor Networks," in *Ad-Hoc Networking*, vol. 212, K. Al Agha, Ed. Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 61–70. doi: 10.1007/978-0-387-34738-7\_5.
- [61] O. Senouci, Z. Aliouat, and S. Harous, "A review of routing protocols in internet of vehicles and their challenges," *Sens. Rev.*, vol. 39, no. 1, pp. 58–70, Jan. 2019, doi: 10.1108/SR-08-2017-0168.
- [62] C. Cooper, D. Franklin, M. Ros, F. Safaei, and M. Abolhasan, "A Comparative Survey of VANET Clustering Techniques," *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. PP, pp. 1–1, Sep. 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2611524.
- [63] M. A. Togou, A. Hafid, and L. Khoukhi, "SCRIP: Stable CDS-Based Routing Protocol for Urban Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 17, no. 5, pp. 1298–1307, May 2016, doi: 10.1109/TITS.2015.2504129.

- [64] "[PDF] A fuzzy-logic-based cluster head selection algorithm in VANETs | Semantic Scholar." <https://www.semanticscholar.org/paper/A-fuzzy-logic-based-cluster-head-selection-in-Hafeez-Zhao/5274376d3a05798164812512ba3dc70245cf45ff> (accessed Sep. 14, 2021).
- [65] M. Hadded, R. Zagrouba, A. Laouiti, P. Muhlethaler, and L. A. Saidane, "A Multi-Objectif Genetic Algorithm-Based Adaptive Weighted Clustering Protocol in VANET," in *CEC'2015 : IEEE Congress on Evolutionary Computation*, Sendai, Japan, May 2015, pp. 994–1002. doi: 10.1109/CEC.2015.7256998.
- [66] Zhigang Wang, Lichuan Liu, MengChu Zhou, and N. Ansari, "A Position-Based Clustering Technique for Ad Hoc Intervehicle Communication," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev.*, vol. 38, no. 2, pp. 201–208, Mar. 2008, doi: 10.1109/TSMCC.2007.913917.
- [67] N. P. Vaity and D. V. Thombre, "A SURVEY ON VEHICULAR MOBILITY MODELING: FLOW MODELING," vol. 1, no. 4, p. 6.
- [68] P. Basu, N. Khan, and T. D. C. Little, "A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks," in *Proceedings 21st International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, Apr. 2001, pp. 413–418. doi: 10.1109/CDCS.2001.918738.
- [69] "Multiclust, mobile, multimedia radio network | SpringerLink." <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01200845> (accessed May 28, 2021).
- [70] "A. Fathi and H. Taheri. 'Enhance Topology Control Protocol(ECEC) to Conserve Energy based clustering in Wireless Ad Hoc Networks,' 3rd IEEE ICCSIT, 2010. - References - Scientific Research Publishing." <https://www.scirp.org/%28S%28351jmbntvnsjt1aadkposzje%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=866037> (accessed May 28, 2021).
- [71] S. Adabi, S. Jabbehdari, A. Rahmani, and S. Adabi, "SBCA: Score Based Clustering Algorithm for Mobile AD-hoc Networks," Nov. 2008, pp. 427–431. doi: 10.1109/ICYCS.2008.97.
- [72] C. Caballero-Gil, P. Caballero-Gil, and J. Molina-Gil, "Self-Organized Clustering Architecture for Vehicular Ad Hoc Networks," *Int. J. Distrib. Sens. Netw.*, vol. 2015, Aug. 2015, doi: 10.1155/2015/384869.
- [73] K. Abboud and W. Zhuang, "Stochastic Modeling of Single-Hop Cluster Stability in Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 1, pp. 226–240, Jan. 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2396298.
- [74] M. Azizian, S. Cherkaoui, and A. S. Hafid, "A distributed D-hop cluster formation for VANET," in *2016 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Apr. 2016, pp. 1–6. doi: 10.1109/WCNC.2016.7564925.
- [75] S. Ucar, S. C. Ergen, and O. Ozkasap, "Multihop-Cluster-Based IEEE 802.11p and LTE Hybrid Architecture for VANET Safety Message Dissemination," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 65, no. 4, pp. 2621–2636, Apr. 2016, doi: 10.1109/TVT.2015.2421277.
- [76] H. Liu, L. Yang, Y. Zhang, and L. Wu, "A Position Sensitive Clustering Algorithm for VANET," *Int. J. Online Biomed. Eng. IJOE*, vol. 10, no. 1, p. 14, Feb. 2014, doi: 10.3991/ijoe.v10i1.3145.
- [77] "(PDF) A Destination Based Routing Protocol for Context Based Clusters in VANET." [https://www.researchgate.net/publication/319156867\\_A\\_Destination\\_Based\\_Routing\\_Protocol\\_for\\_Context\\_Based\\_Clusters\\_in\\_VANET](https://www.researchgate.net/publication/319156867_A_Destination_Based_Routing_Protocol_for_Context_Based_Clusters_in_VANET) (accessed May 28, 2021).
- [78] A. Kurunthachalam and C. Dhas, "Destination-aware context-based routing protocol with hybrid soft computing cluster algorithm for VANET," *Soft Comput.*, vol. 23, Apr. 2019, doi: 10.1007/s00500-018-03685-7.
- [79] E. Souza, I. Nikolaidis, and P. Gburzynski, "A New Aggregate Local Mobility (ALM) Clustering Algorithm for VANETs," in *2010 IEEE International Conference on Communications*, May 2010, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICC.2010.5501789.
- [80] A. Ram and M. Mishra, "Mobility adaptive density connected clustering approach in vehicular ad hoc networks," *Int. J. Commun. Netw. Inf. Secur.*, vol. 9, pp. 222–229, Jan. 2017.

- [81] M. Ren, L. Khoukhi, H. Labiod, J. Zhang, and V. Vèque, "A mobility-based scheme for dynamic clustering in vehicular ad-hoc networks (VANETs)," *Veh. Commun.*, vol. 9, pp. 233–241, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.vehcom.2016.12.003.
- [82] O. Senouci, S. Harous, and Z. Aliouat, "An Efficient Weight-Based Clustering Algorithm using Mobility Report for IoV," in *2018 9th IEEE Annual Ubiquitous Computing, Electronics Mobile Communication Conference (UEMCON)*, Nov. 2018, pp. 614–620. doi: 10.1109/UEMCON.2018.8796619.
- [83] M. Hadded, R. Zagrouba, A. Laouiti, P. Muhlethaler, and L. A. Saidane, "A multi-objective genetic algorithm-based adaptive weighted clustering protocol in VANET," in *2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, May 2015, pp. 994–1002. doi: 10.1109/CEC.2015.7256998.
- [84] "Clustering algorithm for internet of vehicles (IoV) based on dragonfly optimizer (CAVDO) | SpringerLink." <https://link.springer.com/article/10.1007/s11227-018-2305-x> (accessed May 28, 2021).
- [85] A. Sahoo, S. Swain, B. Pattanayak, and M. Mohanty, "An Optimized Cluster Based Routing Technique in VANET for Next Generation Network," vol. 433, 2016, pp. 667–675. doi: 10.1007/978-81-322-2755-7\_69.
- [86] W. Shahzad, F. A. Khan, and A. B. Siddiqui, "Clustering in Mobile Ad Hoc Networks Using Comprehensive Learning Particle Swarm Optimization (CLPSO)," in *Communication and Networking*, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 342–349. doi: 10.1007/978-3-642-10844-0\_41.
- [87] X. Zhang and X. Zhang, "A binary artificial bee colony algorithm for constructing spanning trees in vehicular ad hoc networks," *Ad Hoc Netw.*, vol. 58, pp. 198–204, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.adhoc.2016.07.001.
- [88] S. Ebadinezhad, Z. Dereboyu, and E. Ever, "Clustering-Based Modified Ant Colony Optimizer for Internet of Vehicles (CACIOV)," *Sustainability*, vol. 11, no. 9, Art. no. 9, Jan. 2019, doi: 10.3390/su11092624.
- [89] M. Artimy, "Local Density Estimation and Dynamic Transmission-Range Assignment in Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 8, no. 3, pp. 400–412, Sep. 2007, doi: 10.1109/TITS.2007.895290.
- [90] M. Khan *et al.*, "Grey wolf optimization based clustering algorithm for vehicular ad-hoc networks," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 70, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.compeleceng.2018.01.002.
- [91] "Fig.4.1 Routing protocols Classification in IoV," *ResearchGate*. [https://www.researchgate.net/figure/Routing-protocols-Classification-in-IoV\\_fig7\\_348415596](https://www.researchgate.net/figure/Routing-protocols-Classification-in-IoV_fig7_348415596) (accessed Sep. 14, 2021).
- [92] "QoS Based Clustering for Vehicular Networks in Smart Cities," *springerprofessional.de*. <https://www.springerprofessional.de/en/qos-based-clustering-for-vehicular-networks-in-smart-cities/17348456> (accessed May 28, 2021).
- [93] "Robust Applications for Internet of Vehicles." <https://123dok.net/document/dzxn6d4q-robust-applications-for-internet-of-vehicles.html> (accessed Sep. 15, 2021).
- [94] L. E. Kerimova, "On an approach to clustering of network traffic," *Autom. Control Comput. Sci.*, vol. 41, no. 2, pp. 107–113, Apr. 2007, doi: 10.3103/S0146411607020071.
- [95] "(PDF) Clustering in vehicular ad hoc networks: Taxonomy, challenges and solutions." [https://www.researchgate.net/publication/262879292\\_Clustering\\_in\\_vehicular\\_ad\\_hoc\\_networks\\_Taxonomy\\_challenges\\_and\\_solutions](https://www.researchgate.net/publication/262879292_Clustering_in_vehicular_ad_hoc_networks_Taxonomy_challenges_and_solutions) (accessed May 28, 2021).
- [96] S. Hosmani and B. Mathpati, "Survey on cluster based routing protocol in VANET," in *2017 International Conference on Electrical, Electronics, Communication, Computer, and Optimization Techniques (ICEECOT)*, Dec. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICEECOT.2017.8284584.
- [97] O. Senouci, S. Harous, and Z. Aliouat, "Survey on vehicular ad hoc networks clustering algorithms: Overview, taxonomy, challenges, and open research issues," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 33, no. 11, p. e4402, 2020, doi: <https://doi.org/10.1002/dac.4402>.

- [98] R. Gasmi, M. Aliouat, and H. Seba, "Geographical Information Based Clustering Algorithm for Internet of Vehicles," 2021, pp. 107–121. doi: 10.1007/978-3-030-70866-5\_7.
- [99] "Position Based Routing Protocols in VANET: A Survey: Wireless Personal Communications: An International Journal: Vol 83, No 4." <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1007/s11277-015-2567-z> (accessed Sep. 19, 2021).
- [100] S. Boussoufa-Lahlah, F. Semchedine, and L. Bouallouche-Medjkoune, "A Position-based Routing Protocol for Vehicular ad Hoc Networks in a City Environment," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 73, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.12.054.
- [101] T. Song, W. Xia, T. Song, and L. Shen, "A cluster-based directional routing protocol in VANET," Dec. 2010, pp. 1172–1175. doi: 10.1109/ICCT.2010.5689132.
- [102] "A New Heuristic Clustering Algorithm Based on RSU for Internet of Vehicles | SpringerLink." <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-019-03854-2> (accessed Sep. 20, 2021).
- [103] "A stable clustering algorithm using the traffic regularity of buses in urban VANET scenarios | SpringerLink." <https://link.springer.com/article/10.1007/s11276-019-02019-1> (accessed Sep. 20, 2021).
- [104] "Comprehensive survey on clustering-based efficient data dissemination algorithms for VANET | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore." <https://ieeexplore.ieee.org/document/7955516> (accessed Sep. 20, 2021).
- [105] M. Sood and S. Kanwar, "Clustering in MANET and VANET: A survey," Apr. 2014, pp. 375–380. doi: 10.1109/CSCITA.2014.6839290.