

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
**Université A/Mira de Béjaia**  
Faculté des Sciences Exactes  
Département Informatique



# Mémoire de Fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme Master recherche en  
Informatique  
Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués

## THÈME

---

Routage basé sur le clustering dans les réseaux  
VANETs

---

Réalisé par :

M<sup>elle</sup> HATEM Manel.  
M<sup>elle</sup> SALMI Siham.

Devant le jury composé de :

Présidente : M<sup>me</sup> MAMMRI Karima.  
Examinatrice : M<sup>me</sup> ZIDANI Faroudja.  
Examinatrice : M<sup>me</sup> LAHLAH Souad.  
Promotrice : M<sup>me</sup> BOULFEKHAR Samra.

PROMOTION 2017

# Remerciements

En tout premier lieu, nous remercions Allah le tout puissant.

Nous remercions Mlle S.BOULFEKHAR de nous avoir proposé ce sujet de mémoire, et de l'attention qu'elle a porté à notre travail : ses conseils et ses commentaires précieux qui nous ont permis de mener à bien ce travail.

Nous remercions aussi les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail et de nous faire part de leurs remarques pertinentes.

Un grand merci à Mr A.AKILAL et Mr M.ATMANI pour leur aide qui nous a été précieuse.

## Dédicaces

C'est avec profonde gratitude et sincères mots,  
Que nous dédions ce modeste travail de fin étude à  
Nos chers parents ; qui ont sacrifié leur vie pour  
Notre réussite et nous en éclairé le chemin par  
Leur conseils judicieux.  
Nous espérons qu'un jour,  
Nous pourrons leur rendre un peu de ce qu'ils ont  
Fait pour nous, que dieu leurs prête bonheur et longue vie.  
Nous dédions aussi ce travail à nos frères et  
Sœurs, nos familles, nos amis,  
Nous remercions profondément tous ceux qui ont contribués de loin ou de près à  
l'élaboration de ce travail, spécialement Syphax et Slimane et sans oublié medi.  
Et à tous ceux qui nous sont chers.

*HATEM Manel & SALMI Siham*

# Table des matières

<b>Table des matières</b>	<b>i</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>iv</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>v</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>vi</b>
<b>Introduction générale</b>	<b>1</b>
<b>1 Réseaux Ad-hoc véhiculaires</b>	<b>3</b>
1.1 Introduction	3
1.2 Réseaux Ad hoc	3
1.2.1 Définition	4
1.2.2 Caractéristiques des réseaux Ad hoc	4
1.2.2.1 Topologies dynamiques	4
1.2.2.2 Bande passante limitée	5
1.2.2.3 Utilisation limitée de l'énergie	5
1.2.2.4 Sécurité physique limitée	5
1.2.2.5 Absence d'infrastructure	5
1.3 Réseaux VANET	5
1.3.1 Définition	6
1.3.2 Nœuds d'un réseau VANET	6
1.3.3 Architectures de communication	7
1.3.3.1 Communication véhicule à véhicule	8
1.3.3.2 Communication véhicule avec utilisation d'infrastructures	9
1.3.3.3 Communication hybride	9
1.3.4 Caractéristiques des réseaux VANET	9
1.3.4.1 Forte mobilité	9
1.3.4.2 Potentiel énergétique	10
1.3.4.3 Connectivité intermittente	10
1.3.4.4 Diversité de la densité	10
1.3.4.5 Modèle de communication	10
1.3.5 comparaison entre VANET et MANET	10
1.3.6 Applications des réseaux VANET	11
1.3.6.1 Applications dans la sécurité routière	12
1.3.6.2 Applications de gestion de trafic	12

1.3.6.3	Applications liées au confort . . . . .	12
1.3.7	Défis liés aux réseaux VANETs . . . . .	12
1.3.7.1	Sécurité . . . . .	12
1.3.7.2	Qualité de service . . . . .	13
1.3.7.3	Canal radio fiable . . . . .	13
1.3.7.4	Routage . . . . .	13
1.4	Conclusion . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Routage dans les réseaux VANET</b>	<b>15</b>
2.1	Introduction . . . . .	15
2.2	Routage dans les MANETs . . . . .	15
2.3	Routage dans les VANETs . . . . .	16
2.4	Métriques de décision de routage dans VANET . . . . .	16
2.5	Facteurs de qualité du routage dans VANET . . . . .	17
2.6	Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET . . . . .	18
2.6.1	Protocoles basés sur la topologie . . . . .	18
2.6.1.1	Protocoles proactifs . . . . .	18
2.6.1.2	Protocoles réactifs . . . . .	19
2.6.1.3	Protocoles hybrides . . . . .	20
2.6.2	Protocoles basés sur la position . . . . .	21
2.6.3	Protocoles de routage géocast . . . . .	22
2.6.4	Protocoles de routage basés sur le clustering . . . . .	23
2.6.5	Protocoles de routage basés sur le broadcast . . . . .	24
2.6.6	Protocoles de routage basés sur l'infrastructure . . . . .	25
2.7	Comparaison des classes étudiées . . . . .	26
2.8	Conclusion . . . . .	27
<b>3</b>	<b>Routage hiérarchique dans les réseaux VANETs</b>	<b>28</b>
3.1	Introduction . . . . .	28
3.2	Hiérarchisation dans les VANETs . . . . .	28
3.2.1	Entités d'hiérarchisation . . . . .	29
3.2.2	Procédure général d'un algorithme hiérarchique . . . . .	30
3.3	Objectif de la hiérarchisation dans les VANETs . . . . .	31
3.4	Classes d'hiérarchisation dans VANETs . . . . .	32
3.4.1	Clustering traditionnel . . . . .	32
3.4.1.1	Clustering actif . . . . .	32
3.4.1.2	Clustering passive . . . . .	33
3.4.2	Clustering prédictif . . . . .	33
3.4.2.1	Clustering basé sur la position . . . . .	33
3.4.2.2	Clustering basé sur la destination . . . . .	34
3.4.2.3	Clustering basé sur la voie . . . . .	34
3.4.3	Clustering basé sur Backbone . . . . .	35
3.4.3.1	Clustering en k-saut . . . . .	35
3.4.4	Clustering basé sur MAC . . . . .	35
3.4.4.1	Clustering MAC basé sur IEEE 802.11 . . . . .	35
3.4.4.2	Clustering basé sur TDMA . . . . .	36
3.4.4.3	Clustering basé sur SDMA . . . . .	36

3.4.5	Clustering hybride	36
3.4.5.1	Clustering décentralisé coopératif	37
3.4.5.2	Clustering hybride basé sur le comportement du conducteur	37
3.4.6	Clustering basé sur la sécurité	37
3.4.6.1	Clustering d'authentification	38
3.5	Protocoles hiérarchiques dans les VANETs	38
3.5.1	Protocole CBLR	38
3.5.2	Protocole CBR	39
3.5.3	Protocole CBDRP	39
3.5.4	Protocole AMACAD	40
3.5.5	Protocole TIBCRPH	40
3.5.6	Algorithme de cluster basé sur une voie (Lane-based clustering algorithm)	41
3.5.7	Protocole HCA	42
3.5.8	Proocole COIN	42
3.5.9	Protocole LORA-CBF	43
3.5.10	Protocole APROVE	43
3.6	Comparaison des protocoles étudiés	44
3.7	Conclusion	46
<b>4</b>	<b>Fonctionnement et evaluation de performances du protocole CBDRP-DP</b>	
	<b>Proposé</b>	<b>48</b>
4.1	Introduction	48
4.2	Protocole de base CBR	48
4.2.1	Sélection des CHs des clusters	49
4.2.2	Sélection du CH optimal et routage des données	49
4.3	Protocole CBDRP	51
4.3.1	Division en clusters	51
4.3.2	Sélection du CH	52
4.3.3	Procédure de routage des données	53
4.4	Notre protocole CBDRP-DP	55
4.4.1	Formation des clusters	55
4.4.2	Sélection des deux CHs du cluster	55
4.4.2.1	Pseudo algorithme pour la sélection des deux CHs	57
4.5	Procedure de routage des données	57
4.6	Evaluation des performances	58
4.7	Métriques d'évaluation de performances	58
4.7.1	Délai de transmission	58
4.7.2	Perte des paquets	59
4.7.3	Paramètres de simulation	59
4.7.4	Implémentation et résultats obtenus	59
4.8	Conclusion	62
	<b>Conclusion générale</b>	<b>63</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>63</b>

# LISTE DES FIGURES

1.1	Exemple de Réseau MANET [19]. . . . .	4
1.2	Exemple de réseaux véhiculaires [27]. . . . .	6
1.3	Éléments constituant le véhicule intelligent [24]. . . . .	7
1.4	Modes de communication dans les VANET [6]. . . . .	8
3.1	Exemple de l'entités d'hérarchisation. . . . .	29
4.1	Sélection CH optimal [8] . . . . .	50
4.2	Exemple de division en clusters. . . . .	52
4.3	Résultat de clustering dans CBDRP. . . . .	60
4.4	Rrésultat de clustering dans CBDRP-DP. . . . .	60
4.5	Nombre de paquets perdus dans CBDRP et CBDRP-DP. . . . .	61
4.6	Délais de transmission dans CBDRP et CBDRP-DP. . . . .	61

# LISTE DES TABLEAUX

- 1.1 Comparaison entre VANET et MANET. . . . . 11
- 2.1 Comparaison des classes étudiées . . . . . 26
- 3.1 Comparaison des protocoles étudiés. . . . . 45
- 4.1 Paramètres de simulation. . . . . 59



# Liste des abréviations

<b>AMACAD</b>	<b>A</b> daptable <b>M</b> obility- <b>A</b> ware <b>C</b> lustering <b>A</b> lgorithm based on <b>D</b> estination
<b>APROVE</b>	<b>A</b> ffinity <b>P</b> ROpagation for <b>V</b> ehicular networks
<b>CA</b>	<b>C</b> ertificate <b>A</b> uthority
<b>CBDRP</b>	<b>C</b> luster- <b>B</b> ased <b>D</b> irectional <b>R</b> outing <b>P</b> rotocol
<b>CBDRP-DP</b>	<b>C</b> luster- <b>B</b> ased <b>D</b> irectional <b>R</b> outing <b>P</b> rotocol <b>D</b> elay <b>P</b> acket
<b>CBLR</b>	<b>C</b> luster- <b>B</b> ased <b>L</b> ocation <b>R</b> outing
<b>CBR</b>	<b>C</b> luster- <b>B</b> ased <b>R</b> outing
<b>CH</b>	<b>C</b> luster <b>H</b> ead
<b>CM</b>	<b>C</b> luster <b>M</b> ember
<b>COIN</b>	<b>C</b> lustering for <b>O</b> pen <b>I</b> nter vehicle communication <b>N</b> etwork
<b>DSR</b>	<b>D</b> ynamic <b>S</b> ource <b>R</b> outing
<b>DT</b>	<b>D</b> irection of <b>T</b> ransmission
<b>DV-cast</b>	<b>D</b> istributed <b>V</b> ehicular <b>B</b> roadcast <b>P</b> rotocol
<b>GPSR</b>	<b>G</b> reedy <b>P</b> erimeter <b>S</b> tateless <b>R</b> outing
<b>GPS</b>	<b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem
<b>GW</b>	<b>G</b> ateway <b>n</b> ode
<b>HSA</b>	<b>H</b> ybrid <b>C</b> lustering <b>A</b> lgorithm
<b>HCB</b>	<b>H</b> ierarchical <b>C</b> luster <b>B</b> ased <b>R</b> outing
<b>IP</b>	<b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol
<b>IVC</b>	<b>I</b> nter <b>V</b> ehicle <b>C</b> ommunication
<b>LORA-CBF</b>	<b>L</b> ocation <b>R</b> outing <b>A</b> lgorithm with <b>C</b> luster- <b>B</b> ased <b>F</b> looding
<b>LREQ</b>	<b>L</b> ocation with <b>R</b> EQuest
<b>LT</b>	<b>L</b> eft <b>T</b> urn
<b>MAC</b>	<b>L</b> edium <b>A</b> ccess <b>C</b> ontrol
<b>MANET</b>	<b>M</b> obile <b>A</b> d hoc <b>N</b> ETtwork
<b>NT</b>	<b>N</b> o <b>T</b> urning
<b>OLSR</b>	<b>O</b> ptimized <b>L</b> ink <b>S</b> tate <b>R</b> outing <b>P</b> rotocol
<b>PKI</b>	<b>P</b> ublic <b>K</b> ey <b>I</b> nfrastructure
<b>RAR</b>	<b>R</b> oad <b>A</b> ware <b>R</b> outing
<b>ROVER</b>	<b>R</b> Obust <b>V</b> ehicular <b>R</b> outing
<b>RREP</b>	<b>R</b> oute <b>R</b> EPply
<b>RREP</b>	<b>R</b> oute <b>R</b> EQuest
<b>RSU</b>	<b>R</b> oad <b>S</b> ide <b>U</b> nits
<b>RT</b>	<b>R</b> ight <b>T</b> urn
<b>SDMA</b>	<b>S</b> patial <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess
<b>TDMA</b>	<b>T</b> ime <b>D</b> ivision <b>M</b> ultiple <b>A</b> ccess

<b>TRIBARCH</b>	<b>T</b> Raffic <b>I</b> nfrastucture <b>B</b> Ased <b>R</b> outing Protocol <b>C</b> luster with <b>H</b> andoff
<b>TTL</b>	<b>T</b> ime <b>T</b> o <b>L</b> eave
<b>VANET</b>	<b>V</b> ehiclar <b>A</b> d hoc <b>N</b> ETtwork
<b>V2I</b>	<b>V</b> ehicle <b>T</b> o <b>I</b> nfrastucture
<b>V2V</b>	<b>V</b> ehicle <b>T</b> o <b>V</b> ehicle
<b>ZOR</b>	<b>Z</b> one Of <b>R</b> elevance
<b>ZRP</b>	<b>Z</b> one <b>R</b> outing Protocol

# Introduction générale

Nous assistons ces dernières années à une importante évolution dans le domaine des télécommunications sans fil, due essentiellement aux différents besoins exprimés actuellement en termes de disponibilité et d'accès aux données en temps réel et depuis n'importe quel endroit. C'est ainsi que plusieurs types de réseaux ont été développés, dans le seul but d'améliorer notre niveau de vie quotidienne et de répondre à nos exigences qui ne cessent de s'accroître au fil du temps. Parmi ces réseaux, nous citons le réseau ad hoc véhiculaire (Vehicular Ad hoc Network : VANET), qui est une classe particulière des réseaux ad hoc, et qui consiste à renforcer la prévention routière, permettant ainsi de rendre la route plus sûre (les informations sur le trafic, les accidents, les dangers, les déviations possibles, les informations météorologiques, etc.). Ce type de réseau est rapidement devenu un domaine actif de la recherche et du développement, vu le potentiel énorme qu'il présente en termes d'amélioration de la sécurité routière, de la fluidité du trafic routier, et du confort qu'il peut offrir aux conducteurs et aux passagers. La plupart des travaux de recherche sur les VANETs se sont concentrés sur des problématiques bien spécifiques tels que l'acheminement de données (le routage), la qualité de service, et la sécurité de données, etc.

Le routage des données est un point très important qui ne doit pas être négligé dans les réseaux sans fil, avec ou sans infrastructure. Les VANETs ne font pas l'exception, en plus leurs caractéristiques bien particulières telles que la vitesse des véhicules et le changement rapide de topologie rendent les solutions proposées dans les réseaux ad hoc inefficaces dans les réseaux VANETs.

C'est pourquoi plusieurs recherches se sont orientées vers des techniques permettant de garantir un bon acheminement de données dans les réseaux VANETs, en particulier si le réseau VANET s'étend sur plusieurs kilomètres d'autoroute, car, le délai et le taux de pertes de paquets augmentent avec la longueur de la route. L'hierarchisation du réseau en groupes de nœuds ou clusters apporte des solutions à ces problèmes. La hierarchisation est bien adaptée aux VANETs du fait que la dynamique du trafic véhiculaire entraîne la formation de groupes "naturels" aux intersections ou de convois sur

autoroute. De plus, les applications orientées transport sont souvent liées à une région donnée équivalente à un cluster géographique. En divisant l'espace, le réseau devient plus facile à gérer et les messages de coordination ne sont plus échangés entre tous les nœuds mais au sein du groupe.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés au protocole de routage hiérarchique CBDRP (Cluster Based Directional Routing Protocol) qui prend en considération la direction et la vitesse des véhicules d'une part et qui résout le problème de stabilité des liens dans VANET pour une transmission fiable d'une autre part. L'inconvénient majeur de CBDRP se résume dans le taux de perte des paquets élevé ainsi que le délai de transmission de données considéré. Pour remédier à ces problèmes, nous avons proposé une variante améliorée du protocole CBDRP, baptisée CBDRP-DP (Cluster Based Directional Routing Protocol-Delay/packet). Ce dernier utilise deux Cluster-Heads (CHs) par cluster avec deux canaux de transmission différents. Un canal est utilisé par les membres du cluster alors que le deuxième est réservé pour les CHs des différents clusters.

Notre mémoire s'étale sur quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous avons introduit les réseaux VANETs en donnant les définitions, les caractéristiques, les techniques de communication et tout ce qui relève de ce domaine.

Dans le deuxième chapitre, nous avons abordé le routage dans les réseaux VANET tout en définissant les différentes classes de routage et présentant un exemple de protocole pour chacune de ces classes.

Le troisième chapitre est une étude détaillée sur la classe d'hierarchisation qui consiste à présenter les techniques d'hierarchisation et certains protocoles appartenant à cette classe de routage, en finissant par une comparaison entre ces protocoles.

Le quatrième chapitre explique le fonctionnement du protocole CBDRP-DP que nous avons proposé pour améliorer le délai de transmission et le taux de perte des paquets échangés dans le protocole CBDRP. Ce chapitre contient l'idée de base ainsi que l'idée de notre amélioration en montrant les résultats de son implémentation, et aussi une discussion sur ces derniers. Nous terminons ce travail par une conclusion générale.

---

# RÉSEAUX AD-HOC VÉHICULAIRES

---

## 1.1 Introduction

Ces dernières décennies, le monde a connu une grande évolution dans le marché de l'automobile et une augmentation rapide du nombre de véhicules. Cette révolution a, certes, facilité le quotidien des utilisateurs et a même permis l'accélération de la croissance économique à travers le monde, mais elle a aussi engendré des inconvénients, parfois coûteux : embouteillages, accidents mortels, etc.

Ces ennuis ont ouvert la porte à des développements mondiaux, qui ont contribué à la naissance du concept de véhicules connectés. Ce concept est assuré par un réseau véhiculaire ad hoc (Vehicular Ad hoc Network : VANET), qui permet aux véhicules de communiquer via des messages d'alerte, grâce à des capteurs installés au sein de ces véhicules, ainsi permet aux conducteurs d'être avertis suffisamment tôt de dangers éventuels.

Dans ce chapitre, nous commençons en premier lieu par définir qu'est ce qu'un réseau ad hoc, et citer quelques unes de ses caractéristiques. Ensuite, nous abordons les réseaux véhiculaires ad hoc en décrivant les entités communicantes, l'architecture de communication et les caractéristiques de ces réseaux, Puis nous nous intéressons aux différents défis qui ont un impact sur le futur déploiement des réseaux véhiculaires, nous concluons par citer quelques domaines d'application des réseaux VANET et une comparaison entre ces derniers et les réseaux ad hoc, et enfin nous terminons une conclusion.

## 1.2 Réseaux Ad hoc

Dans ce qui suit nous allons définir qu'est ce qu'un réseau ad hoc, puis on cite quelques caractéristiques de ce dernier.

### 1.2.1 Définition

Un réseau ad hoc, connu sous le nom de MANET (Mobile Ad hoc Network), se distingue des autres réseaux sans fil, par sa capacité à exister et à s'organiser de manière autonome, sans infrastructure fixe. Ce réseau, comprend des plates formes mobiles appelées nœuds, qui sont libres de se déplacer sans contrainte, et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil, à condition qu'ils se situent dans le même rayon de transmission, si un nœud source veut transmettre un paquet de données a un nœud destination et que ce dernier n'est pas dans le même rayon de transmission, alors les données devront être acheminées à travers des nœuds intermédiaires tout en prenant en considération l'aspect de leur mobilité. La figure ci-dessous représente un exemple de réseau ad hoc [7].

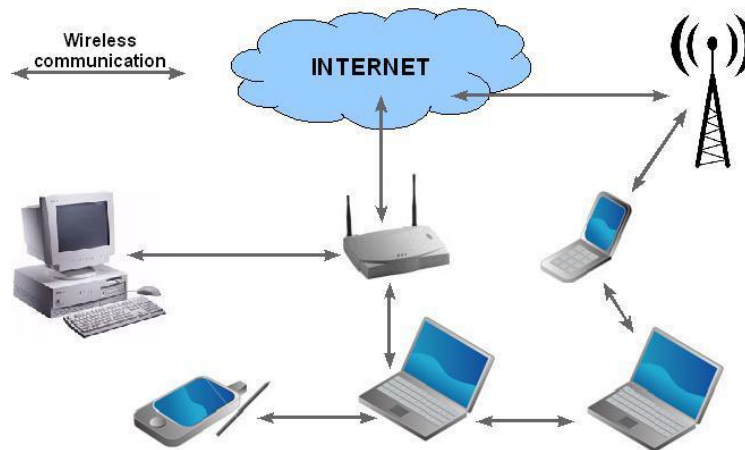


FIGURE 1.1 – Exemple de Réseau MANET [19].

### 1.2.2 Caractéristiques des réseaux Ad hoc

On constate dans les réseaux ad hoc plusieurs caractéristiques dont on peut citer quelques-unes :

#### 1.2.2.1 Topologies dynamiques

Les unités mobiles du réseau, se déplacent d'une façon libre et arbitraire. Par conséquent la topologie du réseau peut changer, à des instants imprévisibles, d'une manière rapide et

aléatoire. Les liens de la topologie peuvent être unidirectionnels<sup>1</sup> ou bidirectionnels<sup>2</sup> [27].

#### 1.2.2.2 Bande passante limitée

Un des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce partage fait que la bande passante réservée à un nœud soit modeste [27].

#### 1.2.2.3 Utilisation limitée de l'énergie

Les nœuds mobiles sont alimentés par des sources d'énergie autonomes comme les batteries ou les autres sources consommables. Le paramètre d'énergie doit être pris en considération dans tout contrôle fait par le système [27].

#### 1.2.2.4 Sécurité physique limitée

Les réseaux mobiles ad hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité, que les réseaux filaires classiques. Cela se justifie par les contraintes et limitations physiques qui font que le contrôle des données transférées doit être minimisé [27].

#### 1.2.2.5 Absence d'infrastructure

Ce type de réseaux se caractérise par la propriété d'absence d'infrastructures préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les nœuds mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue [27].

### 1.3 Réseaux VANET

Les réseaux VANETs constitue une nouvelle forme des réseaux ad hoc. Dans ce qui suit nous aborderons les différents concepts liés à ce type de réseaux.

---

1. Qui ne peut se faire que dans une seule direction.

2. Qui est capable de se déplacer dans deux sens ou directions, généralement opposés.

### 1.3.1 Définition

Un réseau véhiculaire ad hoc, appelé généralement VANET (Vehicular Ad hoc Network), permet d'établir des communications entre véhicules (nœuds) ou bien avec une infrastructure située aux bords de routes. Il est caractérisé par une forte mobilité des nœuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique.

L'objectif principale des réseaux VANET est d'améliorer la sécurité routière tout en élaborant des routes plus sûres et efficaces, en fournissant des informations opportunes aux conducteurs. Un exemple de réseau VANET est illustré dans la Figure 2 .

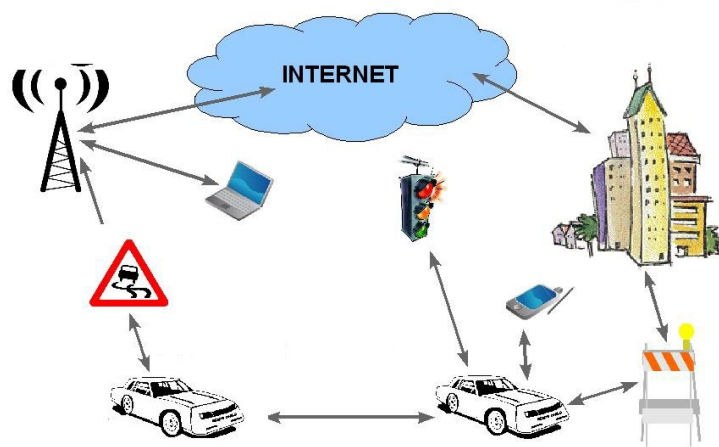


FIGURE 1.2 – Exemple de réseaux véhiculaires [27].

### 1.3.2 Nœuds d'un réseau VANET

Un nœud d'un réseau VANET est un véhicule équipé de terminaux tels que les calculateurs, les interfaces réseaux ainsi que des capteurs capables de collecter les informations et de les traiter. On parle de la notion de "véhicule intelligent". La Figure 3 modélise un véhicule intelligent [6].



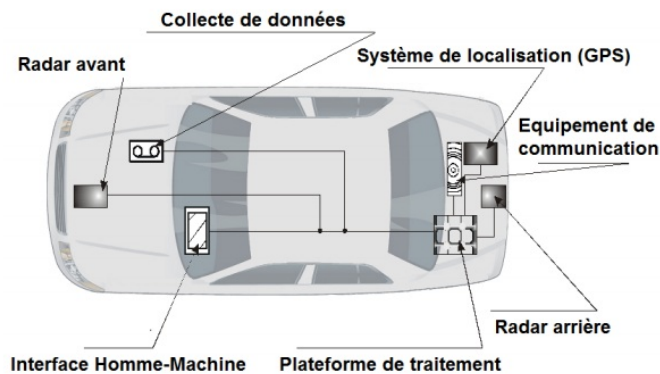


FIGURE 1.3 – Éléments constituant le véhicule intelligent [24].

D'après la figure ci-dessus, on constate qu'une voiture intelligente est composée de différentes entités qui contribuent à son bon fonctionnement. Elle est équipée d'un radar avant et d'un radar arrière qui permettent de détecter la position des objets environnants ; proches et éloignés. Ainsi qu'un système de localisation (Global Positioning System : GPS) qui permet de fournir des informations sur la route et des préventions de circulation. Toutes ces informations obtenues sont rassemblées au niveau de l'équipement collecte de données et sont traitées par la suite au niveau de la plateforme de traitement, pour qu'enfin elles puissent être affichées aux conducteurs à travers l'interface Homme-Machine .

### 1.3.3 Architectures de communication

Il existe plusieurs modes de communication dans les réseaux VANET : Les communications de véhicule à un autre véhicule (Vehicle To Vehicle : V2V), les Communications de véhicule à infrastructure (Vehicle To Infrastructure : V2I) et les communications hybride qui résulte de La combinaison entre les deux type de communications suscitées. La figure ci dessous représente les différents modes de communication dans un réseau VANET [5].

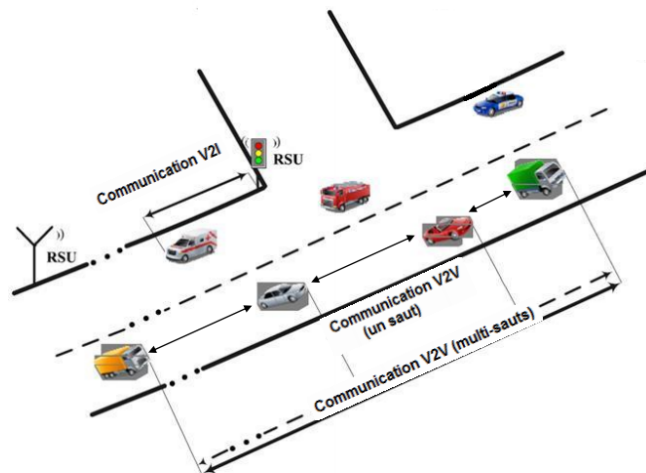


FIGURE 1.4 – Modes de communication dans les VANET [6].

D'après la figure ci-dessus, on constate que la communication V2I représente une communication entre le véhicule blanc et une infrastructure qui est dans ce cas, un feu tricolore. On constate aussi que, deux différents types de communication V2V sont illustrés sur cette figure, qui consiste à une communication à un seul saut entre le véhicule blanc et le véhicule rouge, et une communication multi-sauts entre le véhicule jaune et le véhicule vert, tout en utilisant les véhicules rouge et blanc comme des relais.

### 1.3.3.1 Communication véhicule à véhicule

Ce type de communication ne nécessite pas l'existence d'une infrastructure, il utilise la méthode multicast<sup>3</sup>/broadcast<sup>4</sup> pour transmettre les informations, relative aux trafics, à un groupe de récepteurs. La communication inter-véhicule se fait soit directement entre un véhicule et un autre véhicule voisin, sachant que ces deux dernier doivent se situés dans la même zone radio, ou bien par le biais d'un protocole multi-sauts qui permet de transmettre les messages d'un véhicule a un autre en utilisant les nœuds voisins qui les séparent comme des relais. Les communications V2V sont très efficaces pour le transfert des informations concernant les services liés à la sécurité routière, mais elles ne garantissent pas une connectivité permanente entre les véhicules [5].

3. Est une forme de diffusion d'un émetteur (source unique) vers un groupe de récepteurs.

4. Est une forme de diffusion d'un émetteur (source unique) vers tous récepteurs sans discrimination.

### 1.3.3.2 Communication véhicule avec utilisation d'infrastructures

La communication entre véhicule et les infrastructures fixées au bord de la route est une émission en un seul saut, où l'unité de bord de la route envoie un message en diffusion à tous les véhicules à proximité. Ce type de communication fournit une bonne bande passante entre les véhicules et les points d'accès de bord de route. Les unités de ce dernier peuvent être placées à chaque kilomètre, ainsi elles permettent d'avoir des débits de transmission élevés même dans un environnement de dense circulation, mais pour les applications liées à la sécurité routière, les réseaux à infrastructure ne sont pas efficaces en ce qui concerne les délais de livraison. [5].

### 1.3.3.3 Communication hybride

Le mode de communication hybride est la combinaison des communications V2V avec les communications V2I. Étant donné que, la limitation des portées des infrastructures est considérée comme un obstacle pour le bon fonctionnement d'une communication, l'utilisation des véhicules comme relais est la meilleure solution, dans le but d'étendre la distance du réseau et d'éviter la multiplication des stations de bases à chaque coin de rue. Ce mode permet d'obtenir des résultats de communication très intéressants, ce qui fait de ce mode de communication le plus adopté par le réseau VANET [5].

## 1.3.4 Caractéristiques des réseaux VANET

Les réseaux VANET se distinguent des réseaux sans fil traditionnels par un certain nombre de caractéristiques spécifiques dont on peut citer :

### 1.3.4.1 Forte mobilité

C'est le premier facteur qui distingue les réseaux véhiculaires des autres classes de réseaux sans fil. La vitesse du véhicule peut varier selon l'environnement ou la nature de la route, elle peut être faible ou moyenne dans les zones urbaines ou bien grande sur les autoroutes. Ce changement de vitesse a un impact direct sur la connectivité du réseau [4].

### 1.3.4.2 Potentiel énergétique

À la différence des réseaux sans fil traditionnels où la contrainte d'énergie représente un facteur limitant important, les entités des réseaux véhiculaires disposent de grandes capacités énergétiques qu'elles tirent du système d'alimentation des véhicule [12].

### 1.3.4.3 Connectivité intermittente

Une conséquence directe de la forte mobilité et des obstacles de l'environnement est une connectivité intermittente. Un lien établi entre deux entités du réseau peut rapidement disparaître en raison soit de la mobilité qui éloigne les deux entités communicantes, soit des obstacles qui empêchent la propagation du signal [24].

### 1.3.4.4 Diversité de la densité

La densité des noeuds dans un réseau véhiculaire n'est pas uniforme mais à variation spatio-temporelle<sup>5</sup>. La densité en milieu urbain est par exemple beaucoup plus élevée qu'en milieu rural. Le nombre de véhicules dans une intersection ou dans un embouteillage est plus important que sur des routes extra-urbaines où le trafic est souvent fluide. D'un point de vue temporel, la densité est par exemple différente selon qu'on considère la nuit ou la journée, les heures de pointe ou les heures creuses [6].

### 1.3.4.5 Modèle de communication

Les réseaux véhiculaires ont été imaginés principalement pour les applications liées à la sécurité routière (ex. diffusion de messages d'alerte). Dans ce type d'application, les communications se font presque exclusivement par reliages successifs d'une source vers une multiplicité de destinataires. Le modèle de transmission en broadcast ou en Multicast est donc appelé à dominer largement dans les réseaux véhiculaires, ce qui n'est pas sans conséquence sur la charge du réseau et le modèle de sécurité à mettre en œuvre [6].

## 1.3.5 comparaison entre VANET et MANET

Dans le tableau suivant, nous allons comparer les réseaux VANETs et les réseaux MANETs, en prenant en compte quelques critères de comparaison comme : coût de production,

---

5. Relatif à la fois à l'espace et au temps.

changement de topologie, mobilité, fiabilité, nombre de nœuds, trajectoire des nœuds et durée de vie des nœuds.

	<b>VANET</b>	<b>MANET</b>
<b>Cout de production</b>	Elevé	Réduit
<b>changement de topologie</b>	Fréquent/rapide	Lent
<b>Mobilité</b>	Haute (jusqu'à 200km/h)	Faible ou moyenne (Vitesse de marche)
<b>Nombre de nœud</b>	Illimité (augmentation sans cesse de nombre de véhicule)	Faible ou moyenne (Vitesse de marche)
<b>Trajectoire des nœuds</b>	Déterministe	Aléatoire
<b>Duré de vie des nœuds</b>	Illimitée (vie de véhicule)	Limitée par la vie des batteries dans les nœuds

TABLE 1.1 – Comparaison entre VANET et MANET.

Bien que les réseaux VANET sont un type des réseaux MANET, il est à souligné que leurs divers caractéristique et comportement ne sont pas les même et La différence principale entre ces deux réseaux se situe en le coût de production. En effet, en comparant le coût de production de MANET à celui de VANET, ce dernier est beaucoup plus élevé. On constate aussi d'autres points qui différencient ces deux réseaux, tel que le changement de la topologie qui est fréquent et rapide dans les VANETs contrairement aux MANETs, du principalement aux mouvements des nuds qui sont des véhicules à grande vitesse dans les VANETs . Sans oublier la nature des nœuds et leur nombre ainsi que leur trajectoire car, dans les réseaux VANETs, les nœuds sont des véhicule qui sont a un nombre illimité et dont la trajectoire est déterministe, quant aux réseaux MANETs, les nœuds sont limité et leur trajectoire est aléatoire. Et enfin La durée de vie des nœuds dans les réseaux VANET est illimitée étant donné qu'elle dépend de la durée de vie du véhicule mais dans les réseaux MANET la durée est limitée par la vie des batteries dans les nœuds.

### 1.3.6 Applications des réseaux VANET

Les principales applications des réseaux VANET peuvent être classées en trois catégories.

### 1.3.6.1 Applications dans la sécurité routière

Les applications de sécurité routière, qui visent à améliorer la sécurité des personnes sur les routes, en informant les véhicules de tout danger potentiel. Ces applications se basent en général sur la détection d'environnement proche aux moyens capteurs (radar, camera), ainsi qu'une diffusion de messages informatifs permettant aux conducteurs d'avoir une connaissance de l'état de la route (trafic, travaux, météo) et des véhicules voisins (exemple alerte en cas d'accident) [16].

### 1.3.6.2 Applications de gestion de trafic

Les applications de gestion de trafic, permettent d'améliorer les conditions de circulation dans le but de réduire le nombre d'accident et les embouteillages, elles consistent à fournir aux conducteurs des informations du trafic. Ces applications visent à équilibrer la circulation des véhicules sur les routes pour une utilisation efficace de la capacité des routes et des carrefours et à réduire par conséquent les pertes humaines et la durée des voyages, etc [16].

### 1.3.6.3 Applications liées au confort

les réseaux VANETs permettent d'assurer le confort aux passagers durant leurs voyages, ces services comprennent, entre autres : la messagerie instantanée, les jeux, l'accès à Internet, les paiements automatiques, le chat inter-véhicules, et la disponibilité de l'espace de stationnement dans les parkings en indiquant aux conducteurs les espaces libres, etc [16].

## 1.3.7 Défis liés aux réseaux VANETs

Les propriétés des réseaux VANET offrent des challenges importants, ce qui rend les VANET ouvert à plusieurs domaines de recherche dont nous citons les plus importants :

### 1.3.7.1 Sécurité

La sécurité dans les réseaux VANETs est un point important, car elle affecte la vie des gens. Il est essentiel, par exemple, que l'information vitale ne puisse pas être modifiés ou supprimés par un attaquant. Les communications passant par un véhicule du réseau ainsi que des informations sur les véhicules et leurs conducteurs doivent être garantis et protégés,

de façon à assurer le bon fonctionnement des systèmes de transport intelligents [4].

### 1.3.7.2 Qualité de service

La qualité de service se mesure en fonction de l'application supportée. On peut distinguer plusieurs contraintes dans les applications utilisées dans les VANET, parmi lesquelles on cite : la latence, les messages doivent parvenir à destination dans des délais courts ; une connectivité non intermittente, par exemple les applications de confort tel que le transfert de fichiers ou le téléchargement le besoin nécessitent une connectivité permanente, etc [12].

### 1.3.7.3 Canal radio fiable

Le rôle des mécanismes de gestion du canal radio est d'offrir des transmissions fiables et robustes et un partage équitable du médium de communication. Pour atteindre cet objectif dans le cas des réseaux véhiculaires, il est nécessaire de définir des méthodes qui permettent de faire face aux deux problèmes majeurs des transmissions qui sont, les interférences inter-symboles (les bits qui sont dans la couche physique) dues à la propagation des ondes par trajets multiples et l'effet Doppler (la différence des fréquences observés entre émission et réception) causé par le mouvement des véhicules [17].

### 1.3.7.4 Routage

Pour que les véhicules puissent communiquer entre eux, un protocole de routage doit être défini. En effet, quand les terminaux ne sont pas à une portée de transmission radio directe, le routage est exigé pour établir la communication entre les véhicules. Le routage est considéré comme la meilleure solution pour un acheminement sûr, et une transmission efficace de paquets de données, tel que des messages multi-sauts sont envoyés dans un chemin calculé entre la source et la destination selon le protocole de routage. Plus précisément, les protocoles de routage sont chargés de déterminer la façon de relayer le paquet à sa destination, la façon de calculer la route et aussi d'ajuster la trajectoire en cas d'échec. Un routage efficace est celui qui est capable de livrer un paquet de donnée dans un temps très court et d'utiliser un minimum de bande passante [6].

## 1.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons pu avoir un aperçu général sur les réseaux VANET, et constater que les différents types de communication de ces réseaux ont pour but d'offrir des services variés allant de l'information du conducteur à des services liés à la sécurité routière. Néanmoins, fournir ces services dans ce type de réseau n'est pas une tâche facile, car cela nécessite d'acheminer et assurer un échange d'information entre les nœuds d'une manière sûre et efficace, et ce rôle important est assuré par des protocoles de routage, qu'on va présenter dans le chapitre suivant.



---

# ROUTAGE DANS LES RÉSEAUX VANET

---

## 2.1 Introduction

L'objectif principal du routage, est d'assurer l'acheminement des paquets de données de la source à la destination, tout en respectant certains critères liés au réseau. Plusieurs protocoles de routage dédiés aux MANETs ont été adaptés aux VANETs, tel qu'il faut prendre en considération les différentes caractéristiques des réseaux VANET (changements de topologie, la forte mobilité, la capacité limitée des liaisons radio, etc) pour assurer une stratégie qui garantit une connectivité du réseau permanente.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier lieu, le routage dans les réseaux MANETs et VANETs, puis nous évoquerons les critères sur lesquels nous allons se baser pour choisir un meilleur acheminement de paquet de données. Ensuite, nous parlerons de la classification des protocoles de routage et nous étudierons les différents protocoles correspondants à chaque classe, que nous allons comparer par la suite.

## 2.2 Routage dans les MANETs

Les réseaux MANET se caractérisent, par l'absence de l'infrastructure fixe, ce qui conduit ces réseaux d'assurer leur propre organisation d'acheminer les données entre les entités mobiles. Cet acheminement requière l'utilisation de protocoles de communication ou de routages spécifiques. Ces protocoles visent à sélectionner la meilleure route pour acheminer les paquets depuis la source vers la destination [28].

## 2.3 Routage dans les VANETs

Dans les réseaux VANET, le routage est un mécanisme qui permet de trouver et de maintenir un chemin de communication entre une paire de nœuds distants, et il s'accomplit selon deux phases distinctes : une phase de signalisation assurée par des échanges de messages de contrôle permettant la construction et le maintien des chemins, et une phase d'acheminement des paquets de données.

En raison des caractéristiques de ces réseaux, les protocoles de routage conçus pour les réseaux filaires ne peuvent être directement utilisés. Pour fonctionner, ces protocoles doivent prendre en considération certains aspects liés à l'environnement dans lequel ils sont déployés tels que les changements de la topologie due à la mobilité des nœuds, l'absence d'une entité centrale de gestion, etc [13].

## 2.4 Métriques de décision de routage dans VANET

Pour comparer et analyser les protocoles de routage, des critères de classification appropriés sont importants à suivre afin d'obtenir un chemin de routage optimal et efficace. En effet, la classification permet aux concepteurs de mieux comprendre les caractéristiques des protocoles de routage et de discerner les relations qui les relient. Les critères généralement retenus lors de la classification des protocoles de routage sont principalement liés aux :

- **Délais de transmission** : c'est le temps écoulé entre l'envoi d'un paquet de donnée par un émetteur et sa réception par le destinataire.
- **Longueur du parcours** : la distance parcouru entre le nœud émetteur et récepteur lors de la transmission des données, au lieu de prendre un chemin long lors d'acheminement des messages il est préférable de trouver des chemins plus court (les communications hybride) cela permet de diminuer le taux d'erreur.
- **Taux de livraison de paquets** : c'est le rapport entre le nombre de paquets de données reçus par les nœuds destinations et le nombre total de données émis par les nœuds sources, tel qu'il faut tenir en compte les paramètres suivants : la taille du paquet, nombre de nœuds, porté de communication et la structure du réseau.
- **Coût de routage** : c'est le rapport entre le nombre de paquets de routage envoyés et le nombre de paquets de données reçus par les destinations.

- **Gigue** : c'est la différence du délai de deux paquets successivement reçus appartenant au même flux de données.
- **Bande passante** : c'est la vitesse de transfert des paquets de données envoyés depuis le nœud émetteur vers le nœud récepteur, mesurée en bits par seconde (bit/s).

## 2.5 Facteurs de qualité du routage dans VANET

Les facteurs de qualité du routage dans les réseaux VANET sont généralement les résultats de mesure des différentes métriques sur lesquelles on se base pour favoriser une technique par rapport à une autre.

- Dans le cas de la surcharge du réseau qui est mesurée par le taux de paquets de contrôle de routage dans le réseau par rapport au nombre total de paquets émis, le taux de surcharge est recalculé à chaque émission ou réception d'un paquet, ce qui est important pour déterminer la nature des paquets qui occupent le réseau. Par exemple, si le taux de surcharge est très élevé cela veut dire qu'il y aura beaucoup de chances que le canal de communication soit occupé par les paquets de contrôle de routage, donc les paquets de données ne seront plus prioritaires, et par conséquent le taux d'envoi effectif va diminuer. Donc, ce taux nous permet de connaître le type de paquets qui inondent le plus le réseau (paquets de données ou paquets de contrôle) [9].
- Dans le cas de la gigue, il est important de savoir si la gigue est faible, cela peut vouloir dire que les nœuds sont proches les uns des autres donc la connectivité du réseau est forte ou bien les nœuds sont très mobiles. Mais, si les valeurs des giges sont grandes cela veut dire que les vitesses des nœuds sont très variables et que la connectivité du réseau n'est pas stable. Donc, les délais de bout en bout sont très variables. Le choix du protocole est jugé par le fait que ce dernier assure la stabilité de la gigue (variation de délai) car si la gigue est stable, il y a moins de calcul nécessitant la régulation du débit et donc moins de congestion dans le réseau [9].
- Dans le cas du débit qui est mesuré par la quantité d'information qu'un lien peut supporter par rapport à une unité de temps, plus le débit est grand, plus la transmission des paquets de données est grande. Le débit est un facteur essentiel qui contribue au choix de la technique qui convient le plus, car cette dernière est considérée meilleure si elle consomme moins de débit [9].

## 2.6 Classification des protocoles de routage dans les réseaux VANET

Les Protocoles de routage dans les réseaux VANET sont classés en six types : protocoles basés sur la topologie, protocoles basés sur la position, protocoles géocast, protocoles basés sur le clustering, protocoles basés sur le broadcast et protocoles basés sur l'infrastructure.

### 2.6.1 Protocoles basés sur la topologie

Les protocoles de routage basés sur la topologie, correspondant à l'architecture du réseau tel que dans les réseaux VANET, ils découvrent l'itinéraire et le maintiennent dans une table avant que l'émetteur ne commence à transmettre des données. Ces protocoles tentent de trouver le chemin le plus court entre le nœud source et le nœud destination, on peut distinguer trois catégories dans ce type des protocoles : protocoles proactifs, protocoles réactifs et protocoles hybrides [3].

#### 2.6.1.1 Protocoles proactifs

Dans les protocoles proactifs, chaque nœud garde une vue globale de la topologie de tout le réseau, cette dernière est mise à jour, périodiquement ou à chaque modification topologique. Dans ce type de protocole, des routes sont construites entre les nœuds avant même qu'elles ne soient demandées. Et grâce à des tables de routage qui sont mis à jour à chaque changement de topologie, chaque nœud dispose à tout instant d'un chemin vers n'importe quel autre nœud du réseau [3].

- **Avantages**

- La topologie du réseau est connue de tous les nœuds. Les routes sont disponibles immédiatement.
- Les protocoles proactif disposent en permanence d'une route pour chaque destination dans le réseau.

- **Inconvénients**

- Il faut diffuser régulièrement des informations sur les changements de topologie du réseau.
- Un volume de signalisation important.

- Les chemins inutilisés occupent une part importante de la Bande passante.

- **Exemple : Protocole d'optimisation de l'algorithme d'état de lien (Optimized Link State Routing Protocol : OLSR)**

Son principe est que chaque nœud construit un sous ensemble appelé MPR (Multi-Point Relaying) parmi ses voisins, qui permet d'atteindre tous ses voisins à deux sauts, les nœuds de cet ensemble servent à acheminer et retransmettre les messages qu'ils reçoivent. Les voisins d'un nœud qui ne sont pas MPRs, peuvent uniquement lire et traiter les paquets sans les retransmettre [23].

Parmi ses avantages, sa simplicité dans l'utilisation des interfaces, il est facile d'intégrer le protocole de routage dans les systèmes d'exploitation existants, sans changer le format de l'en-tête des messages IP.

Quant à ces inconvénients on aperçoit qu'une grande quantité de bande passante est nécessaire pour calculer le chemin optimal. Ce protocole a besoin de plus de temps pour redécouvrir un lien brisé. Sans oublier qu'il nécessite plus de puissance de traitement lorsque un autre itinéraire est découvert [21].

### 2.6.1.2 Protocoles réactifs

Le principe des protocoles réactifs également appelés protocoles de routage à la demande (on-demand routing protocols) est de lancer le processus de recherche de routes uniquement en cas de besoin (à la demande). Dans ce type de protocole, les routes ne sont découvertes que pour les nœuds actifs. Pour découvrir l'itinéraire de la source à la destination, les nœuds s'envoient des requêtes. Le nœud source envoie la requête d'itinéraire RREQ (route request), lorsqu'il souhaite envoyer le message à un nœud de destination particulier. Ensuite, le nœud source attendra la réponse d'itinéraire RREP (route replay), si la réponse est venue dans une période de temps particulière, il va commencer la communication en supposant que le chemin est disponible. S'il ne reçoit aucune réponse dans une période de temps donné, il supposera que le chemin n'est pas disponible [3].

- **Avantages**

- Economisation de la bande passante et de l'énergie.
- Les nœuds mobiles ne conservent pratiquement aucune information sur la topologie globale du réseau : seules les informations sur les routes actives sont stockées.
- Les protocoles réactifs génèrent à priori un volume plus faible de signalisations.
- L'inondation du réseau par les paquets de données est nécessaire que lorsqu'elle est

demandée.

- **Inconvénients**

- Les protocoles réactifs engendrent un délai lors de la construction (ou de la reconstruction) des routes et produisent plus difficilement des routes optimales.
- La latence de recherche d'itinéraire est élevée.
- Une inondation excessive du réseau entraîne une perturbation de la communication entre les nœuds.

- **Exemple : Protocole de routage dynamique de la source (Dynamic Source Routing : DSR)**

Ce protocole effectue deux opérations, la première est utilisée pour la découverte de la route à la demande et la seconde s'occupe des routes de communication en cours. Lors de la découverte de l'itinéraire, il découvrira l'itinéraire de la source à la destination. Si le nœud trouve plus d'une façon d'atteindre la même destination, il stockera cette information. L'avantage de l'utilisation de ce protocole est dans le cas d'une rupture d'un itinéraire, il peut utiliser un autre, pas besoin d'en découvrir un nouveau. Les nœuds de transition n'ont pas besoin de maintenir à jour les informations sur la route puisque le paquet possède toutes ces informations. L'inconvénient de ce protocole c'est qu'il ne fonctionne pas bien si la mobilité est très élevée, et l'augmentation des nœuds à traverser causera l'augmentation de la taille des paquets.

### 2.6.1.3 Protocoles hybrides

Ce type de protocole combine les fonctionnalités des protocoles de routage réactifs et proactifs, tout en assurant d'écartier les inconvénients de ces deux derniers. Ils utilisent la technique des protocoles proactifs pour la phase de découverte des voisins. Pour le reste des nœuds, ils agissent comme des protocoles réactifs [3].

- **Avantages**

- Il combine les avantages des protocoles proactifs et des protocoles réactifs pour rendre le routage plus efficace.
- Il s'adapte mieux aux réseaux de grandes tailles.
- La réaction à la demande du trafic dépend de son volume.
- Le taux de congestion est plus au moins petit.

- **Inconvénients**

- Il cumule les inconvénients des protocoles réactifs et proactifs, messages de contrôle périodique ainsi que le coût d'ouverture d'une nouvelle route.
- Requière un espace mémoire important.

- **Exemple : Protocole de routage de la zone (Zone Routing Protocol : ZRP)**

Dans ce protocole, chaque nœud définit une zone autour de lui dans laquelle il va utiliser son protocole proactif. Le protocole proactif en lui-même n'est pas imposé par ZRP, et en principe il peut être de tout type. La zone du nœud est limitée en nombre de sauts entre le centre et les nœuds de frontière. Autrement dit, un nœud appartient à la zone, s'il est au  $x^{eme}$  saut au max du nœud central. Les nœuds qui se trouvent à la limite de cette zone sont appelés les nœuds périphériques.

Un deuxième protocole réactif opère en dehors de cette zone, qui permet de chercher une route vers une destination à l'extérieur. Ce protocole réactif n'est pas spécifié non plus, et intervient entre les différentes zones.

Lorsqu'un nœud veut joindre un autre, il regarde tout d'abord s'il est dans sa zone ou non. S'il est présent, alors la route est connue et disponible immédiatement grâce au protocole proactif, sinon, une requête est envoyée aux nœuds périphériques qui à leur tour regardent si le nœud recherché appartient à leurs zones respectives. Si c'est le cas, une réponse est renvoyée au demandeur. Dans le cas contraire, le processus se poursuit de la même façon jusqu'à trouver le nœud en question. Une réponse est alors formulée et renvoyée à la source. Chaque nœud maintient une liste des requêtes traitées de manière à éviter les doublons qui seront détruits.

Parmi ses avantages c'est qu'il essaie de combiner les privilèges d'une approche des protocoles réactifs et proactifs. Il peut même surpasser ces deux derniers.

Mais puisque le routage hiérarchique est Utilisé, le chemin vers une destination peut être sous-optimal. De plus, comme chaque nœud possède un niveau topologique, l'exigence de mémoire est plus grande. Il n'est pas adapté pour le réseau très mobile, où la topologie réseau change très fréquemment [23].

## 2.6.2 Protocoles basés sur la position

Dans le routage basé sur la position, chaque nœud doit connaître sa propre position géographique ainsi que celle de ses voisins par la détermination de la position des services comme le GPS. Il ne conserve aucune table de routage et ni échange aucune information d'état de liaison avec les nœuds voisins. L'information du dispositif GPS est utilisée pour la décision de routage [2].

- **Avantages**

- La découverte et la gestion de la route n'est pas nécessaire.
- La capacité de minimiser la charge de réseau.
- Support pour le modèle de mobilité de nœud élevé.

- **Inconvénients**

- Il faut des services de détermination de position.
- GPS périphérique ne fonctionne pas dans le tunnel parce que le signal satellite est absent.

- **Exemple : Protocole (Greedy Perimeter Stateless Routing : GPSR)**

sélectionner un nœud qui est le plus proche de la destination finale en utilisant un paquet de signalement (messages beacon). Il utilise l'algorithme d'acheminement glouton s'il échoue, il utilise la transmission périmétrique pour sélectionner un nœud par lequel un paquet se déplacera.

L'avantage de ce protocole c'est que les décisions de transfert des paquets sont prises dynamiquement et le nœud source doit se souvenir d'un seul emplacement de voisinage pour transférer le paquet.

Pour ses inconvénients, même si le nœud de destination déplace ses informations dans l'en-tête de paquet du nœud intermédiaire mais n'est jamais actualisé et comme les caractéristiques de mobilité élevée du nœud, l'information périmée de la position des voisins est souvent contenue dans la table voisine des nœuds expéditeurs [2].

### 2.6.3 Protocoles de routage géocast

Protocole de routage géocast est un protocole basé sur l'emplacement, qui est utilisé pour envoyer un message à tous les véhicules dans une région géographique prédéfinie. La zone sélectionnée pour la transmission est appelée Zone de pertinence (Zone Of Relevance : ZOR). L'idée principale est que le nœud émetteur n'a pas besoin d'envoyer de paquet de données vers les nœuds au-delà du ZOR.

- **Avantages**

- Ces protocoles réduisent la quantité de surcharge et la congestion du réseau lorsque les paquets sont inondés.



- Ces protocoles ont un débit de paquets plus au moins élevé.

- **Inconvénient**

- La livraison de paquets à tous les nœuds dans un ZOR est une tâche très difficile.

- **Exemple : Protocole de routage véhiculaires robuste (Robust Vehicular Routing : ROVER)**

Un protocole de routage basé sur une multidiffusion géographique, qui a pour but principal d'envoyer un message à tous les autres véhicules dans une zone de pertinence (ZOR) spécifiée. Dans ce protocole, les paquets de contrôle sont diffusés dans le réseau et les paquets de données sont uniques. Son avantage est la fiabilité quant à ses inconvénients, on constate la congestion et le retard dans le transfert de données en raison de message redondant. Le contrôle des frais généraux des paquets sont élevés [15].

#### 2.6.4 Protocoles de routage basés sur le clustering

Dans ce type de protocole, des véhicules proches les uns des autres forment un cluster. Chaque cluster a un CH, qui est responsable des fonctions de gestion intra et inter-cluster. Les nœuds intra-cluster communiquent entre eux en utilisant des liens directs, alors que la communication entre clusters est effectuée via des CHs de cluster.

- **Avantages**

- Etant donné que les réseaux VANET sont connus pour leur mobilité très dynamique, la formation des groupes est une solution efficace pour maintenir les liens entre les véhicules.

- La diminution des coûts de livraison des paquets de données lors du transport.

- **Inconvénients**

- Des retards de livraison des paquets de données lors du transport principalement à cause de sa gestion.

- La sélection du CH de cluster est un problème important.

- **Exemple : Protocole de Routage hiérarchique basé sur le cluster (Hierarchical Cluster Based Routing : HCB)**

Il s'agit d'un protocole de routage hiérarchique basé sur le cluster conçu pour les

réseaux ad hoc très mobiles. L'architecture de communication à deux couches utilisées dans HCB. Les nœuds de la 1<sup>ère</sup> couche ont une interface radio unique et ils communiquent entre eux via le chemin multi-saut. Dans la 2<sup>ème</sup> couche, les nœuds communiquent entre eux via la station de base. Son avantage est le routage intra-cluster est exécuté indépendamment dans chaque cluster et les têtes de ce dernier échangent périodiquement les informations d'appartenance pour permettre le routage inter-cluster, mais son inconvénient c'est que le nombre de retransmission est élevé en raison d'augmentation de la perte des paquets [31].

### 2.6.5 Protocoles de routage basés sur le broadcast

C'est le protocole de routage le plus utilisé dans les VANET, en particulier dans les applications liées à la sécurité. En mode diffusion, un paquet est envoyé à tous les nœuds (même inconnus ou non spécifiés) du réseau et, à son tour, chaque nœud retransmet le message vers d'autres nœuds du réseau.

- **Avantages**

- Ce protocole a une efficacité élevée sur les autoroutes, car le nombre des véhicules est petit.
- Le critère de fiabilité est satisfait, car le même message sera envoyé par plusieurs nœuds à la destination, donc, le message sera forcément reçu.
- Il est efficace pour minimiser les frais généraux de transmission des messages en raison du mécanisme de tempête de radiodiffusion.

- **Inconvénients**

- En raison de son accessibilité au-delà de portée de transmission, cela nécessite une consommation importante de la bande passante du réseau.
- En raison d'inondation du réseau dû à la radiodiffusion des messages, un nœud peut recevoir le même message plusieurs fois.
- Il cause des retards de transmission de données dans le réseau.

- **Exemple : Protocole de routage de diffusion véhiculaires distribués (Distributed Vehicular Broadcast Protocol : DV-cast)**

Protocole de diffusion de véhicules distribués (Distributed Vehicular Broadcast Protocol :DV-cast) basé sur la connectivité qui divise les véhicules en trois catégories, qui sont : les véhicules de voisinage bien connectée, les véhicules de voisinage peu

connectée et les véhicules de voisinage totalement déconnecté.

Pour un système de communication persistant, les véhicules du voisinage bien connecté et ceux du voisinage peu connectés, peuvent immédiatement retransmettre le message pour les véhicules se déplaçant dans la même direction et cela après avoir reçu le message de radiodiffusion. Tandis que pour les véhicules de voisinage totalement déconnectés, le paquet ne sera pas diffusé, il sera stocké jusqu'à ce qu'un véhicule entre dans la gamme de diffusion. Si le temps est expiré et aucun véhicule connecté n'est trouvé, le paquet sera rejeté. Son avantage, est de vérifier si le paquet est redondant ou non en utilisant la variable d'indicateur, mais son inconvénient est que les frais généraux de contrôle sont élevés [29].

### 2.6.6 Protocoles de routage basés sur l'infrastructure

Cette classe de protocoles de routage utilise des nœuds d'infrastructure comme des relais, tels que l'utilisation d'unités routières RSU, tout au long des routes pour acheminer des paquets vers des véhicules atteignables, dans la zone de transmission [2]. Le nombre de RSU dépend du protocole à adopter, certains protocoles peuvent exiger que le RSU soit placé uniformément le long du bord de la route, alors que d'autres peuvent ne nécessiter que dans les zones frontalières.

- **Avantage**

- La chance de trouver le nœud destination est plus élevé.

- **Inconvénient**

- La demande d'un coût très élevée.

- **Exemple : Protocole de Routage conscient de la route ( Road Aware Routing : RAR)**

La connexion entre les véhicules est créée en exploitant l'infrastructure. RAR fonctionne en mode hybride (V2V et V2I), limitant ainsi le multi-saut. Cela permet de minimiser la perte de paquets et de diminuer le retard car le routage sera géré par l'infrastructure. Le principal inconvénient de cette approche est qu'elle nécessite l'installation d'un grand nombre d'unités routières, ce qui est très coûteux et impossible dans toutes les villes.

## 2.7 Comparaison des classes étudiées

Dans le but de faire une conclusion générale et de connaître les différents facteurs qui caractérisent les protocoles de routage présentés précédemment, nous trouvons qu'une comparaison globale entre toutes les classes de ces protocoles (protocoles actifs, protocoles réactifs, protocoles géocasts, protocoles basés sur la position, protocoles basés sur le cluster, protocoles basés sur le broadcast, protocoles basés sur l'infrastructure) est nécessaire et donne une vue globale sur le sujet. La comparaison va concerner plusieurs métriques dans le réseau citons : méthode de transfert, exigence de carte numérique, exigence d'infrastructure, stratégie de rétablissement et enfin, nature du scénario. Le tableau ci-dessous comporte tous les résultats de cette comparaison.

Protocoles	Basés sur la topologie		Basés sur la position	Géocast	Basés sur le cluster	Basés sur le broadcast	Basés sur l'infrastructure
	Réactifs	Proactif					
<b>Méthode de transfert</b>	Multi sauts	Multi sauts	Méthode heuristique	Multi sauts	Multi sauts	Multi sauts	Multi sauts
<b>Exigence de carte numérique</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
<b>Exigences d'infrastructures</b>	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui
<b>Stratégie de rétablissement</b>	Stocker et diffuser	Multi sauts	Stocker et diffuser	Inondation	Stocker et diffuser	Stocker et diffuser	Multi sauts
<b>Scénario</b>	Urbain	Urbain	Urbain	Autoroute	Urbain Autoroute	Autoroute	Urbain

TABLE 2.1 – Comparaison des classes étudiées

Après avoir examiné et comparé les différents protocoles étudiés, on a pu observer quelques critères qui sont les suivants :

- La plupart des protocoles de routage dans VANET fonctionnent mieux pour des conditions spécifiques d'une route ou un environnement donné. Mais pour assurer un routage efficace, la scalabilité doit être considérée ce qui est très difficile dans l'environnement de VANET.
- Un protocole de routage efficace pour VANET doit pouvoir communiquer avec une faible densité de réseau. La densité du réseau est généralement faible en heures creuses dans

le scénario de la ville ou dans l'autoroute. Cependant, le message de diffusion doit toujours être diffusé à tous les véhicules d'un réseau.

- La plupart des protocoles dans VANET ne considèrent pas la direction des véhicules sur la route. Mais en raison de la grande vitesse et du choix de la voie des véhicules, les paquets peuvent parfois être acheminés vers la mauvaise direction, ce qui entraîne des retards plus élevés ou même une partition du réseau.

## **2.8 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté différentes classes de routage, ainsi que des protocoles dédiés à chacune de ces classes, cela nous a permis de constater que, la conception d'un protocole de routage efficace pour toutes les applications VANET, est une tâche très difficile, car il faut prendre en considération plusieurs critères, qui mène a construire des protocoles plus performants et robustes. Parmi les critères les plus considérés dans les VANETs sont, le délai de transmission et le transfert des paquets de données, qu'on tente à améliorer par différentes techniques, comme les techniques de clustering, qu'on va entamer dans le troisième chapitre.

---

# ROUTAGE HIÉRARCHIQUE DANS LES RÉSEAUX VANETS

---

## 3.1 Introduction

L'hiérarchisation est une technique utilisée pour structurer le réseau en groupes de nœuds, ainsi, améliorer considérablement les performances du réseau.

Etant donné que la vitesse des véhicules est élevée dans les VANETs et les changements de topologie sont très fréquents, etc, les schémas hiérarchiques traditionnels ne conviennent pas aux VANET. Par conséquent, des nouveaux schémas de clustering devraient être conçus spécifiquement pour les VANETs, en fonction de leurs caractéristiques.

Dans ce chapitre, nous allons d'abord présenter l'hiérarchisation dans les VANETs, citer ses objectifs, ensuite présenter les classes d'hiérarchisation connues dans la littérature, ainsi que quelques protocoles de clustering, et terminer avec une comparaison entre les différents protocoles étudiés dans chaque classe.

## 3.2 Hiérarchisation dans les VANETs

L'hiérarchisation dans VANETs consiste à regrouper les véhicules(nœuds) en clusters. Ce regroupement est effectué selon des exigences d'application spéciales afin de fournir un réseau facilement gérable. Donc, les nœuds sont comparés les uns aux autres, tel que les nœuds les plus similaires, en fonction de leurs motifs de mouvement, sont sélectionnés pour rejoindre le même cluster. Les critères de comparaison entre les nœuds sont définis en fonction des exigences de l'application du protocole.

Dans ce qui suit, nous allons d'abord présenter les entités hiérarchiques ainsi que la procé-

ture générale par laquelle il faut passer pour concevoir un algorithme hiérarchique.

### 3.2.1 Entités d'hiérarchisation

L'organisation des nœuds dans les clusters est très important afin d'assurer un bon acheminement des données, les entités principales d'un cluster sont : la tête de cluster (Cluster Head : CH), les membres de cluster (Cluster Member : CM), et les nœuds de passerelle (Gateway node : GW). Ces entités sont illustrées sur la figure ci-dessous et définies par la suite.

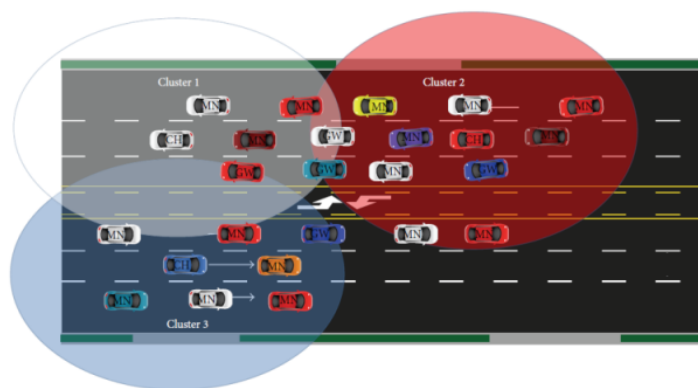


FIGURE 3.1 – Exemple de l'entités d'hérarchisation.

- **Chef de cluster (CH)** : la tête de cluster, dite CH ou nœud leader, est responsable de la gestion de cluster et de la communication avec d'autres clusters ou infrastructures du réseau. CH est, également, responsable du relais d'informations entre les nœuds du même cluster ou des nœuds de clusters différents.
- **Membres de cluster (CM)** : les CM sont les nœuds qui rejoignent un cluster en fonction de leurs caractéristiques et de leurs similitudes. Ces nœuds sont responsables d'envoyer leurs informations et données basées sur l'application, au nœud leader, dans des intervalles de temps spécifiques. Les CM d'un cluster ne sont pas censés communiquer avec CM ou CHs d'autres clusters.
- **Nœuds de passerelle (GW)** : les nœuds GW sont les nœuds partagés entre deux clusters. Ces nœuds peuvent contribuer à la communication entre deux clusters en jouant le rôle d'intermédiaires ou de relais.

### 3.2.2 Procédure général d'un algorithme hiérarchique

Une série de procédures fondamentales par lesquelles il est nécessaire de passer, afin de concevoir un algorithme hiérarchique convenable aux VANETs. Tel que les nœuds participants ou cherchants à participer doivent passer par certaines ou toutes les phases suivantes : phase de la découverte du voisinage, phase de sélection de la tête de cluster, phase d'affiliation, phase de l'annonce, et la phase de maintenance [11].

- **Phase 01 : Découverte des nœuds voisins**

Lorsqu'un véhicule se joint au réseau routier et décide de participer à un VANET, son système de communication s'active et le nœud est considéré comme entré dans le réseau, le nœud commence à envoyer des messages périodiques aux nœuds voisins afin d'annoncer son existence, tout en recevant des messages similaires des autres nœuds voisins. Toutes ces informations échangées entre les nœuds sont stockées dans des tables de routage afin de les utiliser par des algorithmes de cluster par la suite [11].

- **Phase 02 : Sélection de la tête de cluster**

La sélection du CH se fait après avoir rassembler les différentes informations échangés lors de la première phase (découverte de voisins), tel que ces informations seront examinées afin de décider si un nœud est apte à devenir un nœud leader. Lorsqu'un nœud se déclare candidat pour être en-tête d'un cluster, il peut être élu soit, par ses nœuds voisins ou, par lui-même après avoir évalué sa propre aptitude à être un CH, et une fois que ce dernier est sélectionné, il passe à la phase 4 [11].

- **Phase 03 : Affiliation**

Dans cette phase, le nœud va contacter le voisin qu'il a déterminé être le CH optimal à partir de sa propre perspective et tenter de s'associer au cluster formé. Certains algorithmes procède selon différentes étapes pendant cette phase d'affiliation, il s'agit de renvoyer un accusé de réception positif ou négatif de la demande d'affiliation est renvoyé au nœud de jointure, éventuellement suivi d'une étape d'authentification dans le cas d'algorithmes ciblant les applications sensibles à la sécurité. Une fois qu'un nœud est devenu un membre du cluster, il passe à la phase 5.B [11].

- **Phase 04 : Annonce**

Le nœud, s'étant déterminé à être le CH le plus approprié, peut alors envoyer un message d'annonce à ses voisins pour commencer le processus de formation et d'affiliation. Lorsque ce nœud accumule tous les membres du cluster, il passe à l'étape 5.A [11].



- **Phase 05 : Maintenance**

Cette phase [11] se compose de deux étapes différentes, selon que le nœud est devenu un CH ou un membre :

- **A- En tant que CH** : pour le maintien du rôle du CH, le nœud interroge les membres de son cluster et évalue l'état du cluster, tel que ce dernier peut changer après certains événements. Si un CH perd tous ses membres, le cluster n'existera plus et le nœud revient à la phase 1, autrement, un cluster peut fusionner avec un autre, et le CH du cluster plus petit peut devenir un membre ordinaire du nouveau cluster plus grand. Ceci est courant dans les algorithmes qui mettent l'accent sur la création de grands clusters pour une couverture accrue. Dans ce cas, le nœud passera à la phase 5.A.
- **B- En tant que Membre** : le maintien du nœud membre se fait, suite à des messages envoyés activement au CH pour garder son lien vers lui, si ce lien échoue, il retournera à la phase une. Dans le cas où le nœud reçoit une requête d'affiliation d'un nœud non clustérisé, il peut se retirer de son cluster, pour devenir un CH et continuer à la phase 5.A.

### 3.3 Objectif de la hiérarchisation dans les VANETs

Dans les réseaux complexes répartis et à grande échelle comme les VANETs, le clustering est utile pour sa structure et sa gestion, ainsi que pour l'agrégation des données. Parmi les objectifs que les méthodes de clustering tentent à réaliser, nous citons quelques uns :

- Quand le nœud leader (CH) reçoit des messages des nœuds membres dans sa zone, il agrège ces messages. Ainsi les autres nœuds hors zone de cluster ne recevront que le message agrégé au lieu de recevoir tous les messages de chaque nœud séparément. Cette méthode est utile pour envoyer des messages de sécurité dans les VANET.
- La méthode de cluster aide à diviser le réseau en segments plus petits, plus faciles à gérer.
- Augmenter la scalabilité du réseau en divisant celui ci en un ensemble de segments de réseau, réduisant ainsi le nombre de messages transmis au sein de ce réseau, ce qui réduit la congestion dans les communications V2V et V2I, offrant une qualité de service optimale.

- La prise en charge de la connectivité réseau variable, causée par la rupture des liens et les variations de densité.
- La diminution de la contention et les problèmes de terminal cachés.
- Le traitement de la topologie dynamique des VANETs et l'adaptation aux changements de topologie rapides.
- Introduire des structures stables dans un environnement très instable, car les clusters sont formés en tenant compte de la dynamique et du déplacement particuliers des véhicules, ainsi que leur sens de déplacement et leur vitesse.
- Améliorer la livraison des messages et optimiser les coûts de transmission.
- Utilisation correcte de la bande passante du réseau car seules les têtes de cluster participent au processus de routage, et les membres interagissent uniquement avec le CH de leur cluster, ce qui évite l'échange inutile de messages entre les nœuds du même cluster.

## 3.4 Classes d'hiérarchisation dans VANETs

La stabilité est le facteur le plus important pour une communication efficace entre les véhicules du VANET. Pour former des clusters stables, de nombreuses recherches ont fourni diverses techniques de clustering. La classification des différents algorithmes de clusters sont décrites comme suite.

### 3.4.1 Clustering traditionnel

Cette classe de clustering se compose de deux types différents à savoir : clustering actif et clustering passif. Ces derniers se basent sur la fonction des nœuds dans VANET [26].

#### 3.4.1.1 Clustering actif

Dans le cas des protocoles de clustering actifs, il existe des mises à jour périodique des informations de clustering qui se font dans les table de routage locales. Les protocoles de

cette classe se différencient les uns des autres en utilisant de différentes techniques de clustering décrites ci-dessous.

- **Clustering basé sur le voisinage** : les clusters sont formées en fonction des paramètres de réseau détecté par le voisinage ou des véhicules ayant reçu le message hello.
- **Clustering basé sur la mobilité** : cette technique minimise la mobilité relative, ainsi que la distance de chaque CH aux membres de cluster et tente ainsi d'améliorer la convergence et la dynamique du cluster.
- **Clustering basé sur la densité** : permettent des connexions solides entre les CM et une faible variation du nombre de changements de CH, en améliorant la stabilité du cluster.
- **Clustering dynamique** : forme une structure de cluster basée sur la dynamique des nœuds, comme les modèles de mobilité, la vitesse et la densité.

#### 3.4.1.2 Clustering passive

La structure d'un cluster est construite passivement par le mécanisme de clustering passif. Chaque nœud dans un cluster possède un état externe ou interne, qui accompagne l'état de paquet de données en cours. Dans le clustering passif l'état des frais généraux de contrôle sont réduits tout en construisant et en maintenant les clusters.

### 3.4.2 Clustering prédictif

Dans le clustering prédictif, la structure du cluster est déterminée par la position géographique actuelle des véhicules et son comportement futur. Cette information sur le trafic des véhicules aide à associer les priorités, ce qui contribue à la formation des clusters. La position future et les destinations destinées aux véhicules ont été utilisées dans la littérature pour former des clusters dans les VANETs. Certains des protocoles de clustering sont classés à base de position, de destination et de voie comme suit :

#### 3.4.2.1 Clustering basé sur la position

Le clustering basé sur les positions est une technique de formation des clusters sur la base de la position géographique du véhicule et du CH.

Étant donné que les protocoles dédiés à cette sous classe reposent principalement sur la position du véhicule, la gamme de valeurs pour la densité de véhicule et la vitesse du véhicule

présente une variation pour chaque protocole. Cependant, la valeur du taux de convergence du cluster est faible, même si la densité du véhicule et la dynamique du cluster augmentent, ce qui indique une meilleure stabilité du cluster pour ces schémas. La variation de la taille du cluster affecte également les performances en termes de diamètre moyen de la grappe et de seuil de rejet pour le clustering basé sur la position. La valeur de l'efficacité de la transmission qui influe finalement sur le taux de livraison des paquets est également en moyenne sur le côté inférieur. On peut conclure que le temps de connexion des clusters et le coût de transmission de données nécessitent une analyse plus poussée pour améliorer l'efficacité globale du clustering [26].

### **3.4.2.2 Clustering basé sur la destination**

La technique de clustering basée sur la destination tient compte de la position actuelle, de la vitesse, de la destination relative et finale du véhicule pour la formation des clusters. En utilisant le système de navigation, la destination est déjà connue.

Afin de maintenir le processus de clustering stable, la fréquence des changements de cluster est minimisée car un véhicule ne quitte un cluster que lorsqu'il rencontre un CH dont la destination est plus similaire par rapport à la destination du CH courant. Ainsi, l'exploitation du comportement des véhicules en prenant en compte les destinations finales des véhicules améliore la stabilité du cluster et améliore l'efficacité de transmission lors de l'échange des messages. Il en résulte également un temps de connexion de cluster plus élevé car la probabilité qu'un véhicule sorte d'un cluster soit généralement faible en raison de la similitude de ses destinations. Cependant, dans le cas où le nombre de véhicules dans un cluster devient grand, les résultats de diffusion des messages entraînent des frais généraux de transmission élevés [26].

### **3.4.2.3 Clustering basé sur la voie**

Les algorithmes de clustering basés sur la voie utilisent la disponibilité de l'information de voie pour sélectionner des clusters stables. Les frais généraux de transmission des algorithmes dédiés à cette sous classe sont également raisonnables, en raison d'un petit nombre de retransmissions de messages diffusés car le clustering n'est effectué que dans les intersections de voie. Ces algorithmes affichent également une efficacité de transmission améliorée en raison d'une meilleure accessibilité de la diffusion et d'une bonne durée de vie du CH, lorsque les véhicules dans la même voie se déplacent avec une vitesse relative presque constante qui entraîne une dynamique de cluster très stable. Les valeurs observées des caractéristiques du véhicule telles que la densité et la vitesse sont à l'échelle inférieure

puisque ces protocoles sont adaptés pour l'environnement urbain en raison de la contrainte du véhicule circulant dans la même voie [26].

### 3.4.3 Clustering basé sur Backbone

Cette technique de clustering est basée sur la formation d'un réseau de base pour la communication en cluster. Ce réseau effectue ensuite la communication et aide les élections des CHs parmi les membres du cluster. L'une des techniques de clustering basées sur les backbones décrite comme suite :

#### 3.4.3.1 Clustering en k-saut

Dans le cluster multi-saut ou k-saut, la structure du cluster est contrôlée par la distance du saut. Chaque cluster possède l'un de ses nœuds en tant que CH. Les distances entre un CH et les membres du cluster se situent dans un nombre maximal prédéterminé de sauts, qui peuvent être un ou plusieurs sauts.

Ce schéma de clustering offre les avantages d'une meilleure stabilité des clusters, ainsi que d'une faible dynamique de cluster, et peut être attribuée à la variation réduite de la durée de vie du CH et du cluster. Ainsi, il est conclu que ce schéma fournit des performances de VANET fiables et améliorées. Cependant, l'impact de la vitesse et le comportement des véhicules doivent être analysés plus tôt [26] .

### 3.4.4 Clustering basé sur MAC

Plusieurs techniques de clustering basées sur le contrôle d'accès au support (Medium Access Control : MAC) ont été proposées pour la formation de clusters dans les VANET. Parmi les protocoles populaires basés sur MAC, on cite : clustering MAC basé sur IEEE 802.11, clustering basé sur TDMA et clustering basé sur SDMA [26].

#### 3.4.4.1 Clustering MAC basé sur IEEE 802.11

Les protocoles basés sur MAC ont augmenté le pourcentage de collisions et le délai moyen de livraison des messages, ce qui entraîne une transmission moins efficace et des frais généraux de transmission de messages élevés en raison d'une contention des canaux qui augmente à cause de nombre ou la vitesse des véhicules.[18] Plusieurs de ces méthodes

basées sur IEEE 802.11 dont on identifie la distance de livraison de messages et la densité des véhicules comme deux facteurs principaux pour un tel comportement basé sur un modèle de trafic bidirectionnel de véhicule. La prise en compte du trafic bidirectionnel affecte également le temps de connexion du cluster et entraîne une convergence de cluster plus faible. Toutefois, dans ces protocoles, le pourcentage de collisions et les frais généraux de la transmission des messages de sécurité diminuent en réduisant la contention des canaux de transmission pour obtenir une livraison rapide et fiable des messages de sécurité.

#### 3.4.4.2 Clustering basé sur TDMA

Le processus d'attribution fonctionne selon un temps prédéfini en utilisant la technique TDMA, tels qu'un intervalle de temps est effectué pour chaque CM pour la transmission de données. L'accès au support dans un cluster est basé sur TDMA qui est principalement utilisé pour optimiser la communication. Les protocoles dédiés à cette sous classe réduisent les collisions intra-cluster ainsi que la perte de paquets par rapport aux protocoles de clustering traditionnels et offrent ainsi une équité dans le partage du support sans fil pour les VANET. Cela montre que les algorithmes TDMA offrent une meilleure efficacité de transmission pour la maintenance du cluster, ce qui améliore le débit global de la communication inter-cluster et intra-cluster [26].

#### 3.4.4.3 Clustering basé sur SDMA

Dans les protocoles basés sur l'accès multiple par répartition spatiale (Spatial Division Multiple Access : SDMA), la route est subdivisée en segments de longueur fixe et un segment est de nouveau divisé en un nombre fixe de blocs. Chaque bloc reçoit un intervalle de temps, qui représente le temps alloué pour qu'un véhicule transmette des données. Dans SDMA, la performance diminue proportionnellement avec la densité et conduit à une performance insuffisante dans des réseaux clairsemés où les nœuds sont éloignés les uns des autres [26].

#### 3.4.5 Clustering hybride

Les techniques de clustering hybride combinent deux ou plusieurs techniques existantes telles que l'utilisation de l'intelligence artificielle, la logique floue etc. Voici quelques techniques utilisées dans cette classe de clustering :

#### 3.4.5.1 Clustering décentralisé coopératif

Grâce à diverses technologies sans fil, les systèmes coopératifs peuvent utiliser des nouvelles stratégies décentralisées pour un système de surveillance du trafic omniprésent et rentable. [25] Dans ce clustering nous utilisons la technique de QuickSilver qui permet d'utiliser efficacement les ressources disponibles afin de garantir qu'aucune concurrence nuisible n'a lieu pour la bande passante du canal. QuickSilver utilise deux interfaces radio qui permettent aux véhicules de maintenir leur connectivité intra-cluster et leurs opportunités de contacts inter-cluster simultanément.

#### 3.4.5.2 Clustering hybride basé sur le comportement du conducteur

les protocoles de clustering hybride basés sur le comportement du conducteur améliorent l'efficacité de clustering en termes de durée de vie du cluster dont les conducteurs de véhicules ont les mêmes intérêts, cela mène à une bonne stabilité du cluster. L'efficacité de transmission pour ces protocoles est également comparable à d'autres schémas de clustering, mais ceux-ci peuvent avoir généré des valeurs inférieures de la vitesse et de la densité du véhicule. Cela se traduit également, par une répartition satisfaisante de la transmission et de la dynamique des clusters qui peut cependant ne pas se produire, si des conditions de véhicules réalistes sont prises en considération. La convergence de cluster et le temps de connexion au cluster ont également besoin d'autres recherches. Malgré que ces protocoles fournissent une stabilité adéquate en termes de durée de vie des clusters de mêmes intérêt, ils doivent également être analysés plus en détail à partir de plusieurs autres paramètres pour considérer leur adéquation dans les environnements de véhicules.

#### 3.4.6 Clustering basé sur la sécurité

Les VANETs peuvent supporter les applications et les services pour la sécurité et le confort des passagers sur la route et aider à améliorer l'efficacité du réseau de transport routier. Cependant, de nombreux problèmes sérieux restent à résoudre avant qu'une technologie VANET efficace et sécurisée ne soit disponible. L'un de ces défis est une authentification efficace des messages utilisant des techniques cryptographiques . Les solutions pour le cluster sécurisé dans les VANETs nécessitent des algorithmes de clustering efficaces en termes de complexité, de scalabilité, de disponibilité et de capacité de portée [26].

### 3.4.6.1 Clustering d'authentification

Plusieurs algorithmes basés sur l'infrastructure à clé publique (Public Key Infrastructure : PKI) ont été proposés dans la littérature, pour permettre la sécurité des communications dans les environnements de véhicules. Ceux-ci sont basés sur un tiers de confiance appelé autorité de certification (Certificate Authority : CA) qui est responsable de la certification des clés publiques des véhicules [26].

## 3.5 Protocoles hiérarchiques dans les VANETs

Dans ce qui suit, nous présentons le principe de quelques protocoles de routage hiérarchique, tout en citant leurs avantages et inconvénients.

### 3.5.1 Protocole CBLR

C'est un protocole où, une table de routage est utilisée par chaque en-tête de cluster, qui contient les adresses et les emplacements des membres du cluster. L'en-tête de cluster suit également des informations sur tous les clusters voisins à l'aide d'une table de voisins de cluster. Le mécanisme de transmission de paquets, se fait lorsqu'un nœud source souhaite envoyer un paquet à destination, il envoie le paquet au voisin le plus proche de la destination s'il est dans le même cluster. Si la destination est dans un autre cluster, il stocke le paquet de données dans sa mémoire tampon, puis diffuse des paquets LREQ (Location Request) et démarre une minuterie [22].

- **Avantages**

- La surcharge des paquets de contrôle est trop faible.
- Comme le CBLR est un protocole de routage réactif donc ils économisent l'énergie de la l'entête de cluster.

- **Inconvénient**

- Le nombre de retransmissions de paquets de données est élevé.



### 3.5.2 Protocole CBR

CBR est un protocole de routage, basé sur le clustering et la position où la zone géographique est divisée en grilles. En utilisant des informations géographiques, chaque nœud transmet des données vers le nœud voisin. Le coût de routage est faible car il n'a pas besoin de découvrir la route et l'enregistrer dans la table de routage. S'il ya un véhicule dans la grille, il est élu comme un CH puis diffuse un message Lead à ses voisins avec la coordonnée de sa grille et l'emplacement du CH. Chaque fois que le CH quitte la grille, il diffusera le message Leave contenant sa position de grille. Un nœud intermédiaire le stocke jusqu'à ce qu'un nouvel CH de cluster soit sélectionné. Le nouvel CH de cluster utilise ces informations pour le routage des données [30].

- **Avantage**

- Il n'a pas besoin de découvrir l'itinéraire pour que les frais généraux de routage soient moindres.

- **Inconvénient**

- Ne pas tenir compte de la vitesse et de la direction qui est un paramètre important pour VANET.

### 3.5.3 Protocole CBDRP

CBDRP (Cluster-Based Directional Routing Protocol) est conçu pour les véhicules qui se déplacent dans la même direction. Pendant la transmission des données, la source envoie le message au CH de son propre cluster, qui par la suite, renvoie ce message au CH où se trouve la destination, enfin le CH destination accède au message et le transmet vers la destination. Dans ce mécanisme, le lien ne sera maintenu que s'il existe un CH dans un cluster intermédiaire.

Le comportement de cet algorithme est similaire à CBR, mais la direction et la vitesse sont prises en compte lors du transfert de paquets [20].

- **Avantages**

- Le problème de stabilité des liens est résolu dans VANET, ainsi la transmission devient fiable.
  - Les frais généraux du trafic sont réduits.

- **Inconvénients**

- Le délai augmente lorsque le nombre de clusters augmente.
- Une autre limitation de CBDRP est ses liens unidirectionnels.
- Une faible latence.
- Le nombre de retransmission est élevé ce qui conclut à une perte de paquets élevé.

### 3.5.4 Protocole AMACAD

AMACAD (Adaptable Mobility-Aware Clustering Algorithm based on Destination) est un protocole qui vise à suivre avec précision les modèles de mobilité des véhicules dans les VANETs.

Ce protocole tente également de prolonger la durée de vie du cluster et de réduire les coûts de communication. La métrique de clustering utilisée pour la décision des CHs tient compte de, l'emplacement actuel, de la vitesse et des destinations relatives et finales des véhicules.

- **Avantages**

- Ce protocole gère la mobilité et améliore la durée de vie du cluster.
- Il diminue les changements de CH et diminue ainsi, les re-affiliations du cluster.

- **Inconvénients**

- Vu qu'il ya des véhicules qui ne sont pas équipés des systèmes de positionnement global (Global Positioning System : GPS) pour les itinéraires connus à l'avance, Il pourrait y avoir un problème pour connaître la destination finale.
- L'algorithme fonctionne bien, uniquement, lorsque la vitesse moyenne des véhicules est presque constante.

### 3.5.5 Protocole TIBCRPH

Dans TIBCRPH (Traffic Infrastructure Based Cluster Routing Protocol with Handoff), on suppose que chaque nœud est conscient de sa propre position grâce au GPS, et le nœud source connaît également l'emplacement et la vitesse du nœud de destination.

Dans ce schéma l'infrastructure est utilisée comme un en-tête du cluster, tel que les membres d'un cluster peuvent communiquer directement entre eux et les CH du cluster peuvent communiquer soit par le biais d'un mode de communication filaire ou sans fil.

Pour envoyer un message, le nœud source obtient d'abord l'emplacement de lui-même et le nœud de destination via le GPS. S'ils se situent dans le même cluster, le nœud source envoie

directement le message. Sinon, le nœud source met l'emplacement du nœud de destination dans l'en-tête du message, et l'envoi à son CH (L1) en utilisant la métrique de transfert (handoff), et à l'aide de cette métrique, L1 trouve le CH (L2) du nœud de destination et envoie le message à L2 via le réseau principal. L2 extrait alors l'emplacement de destination du message et passe enfin le message au nœud destination.

- **Avantages**

- Les liens sont bidirectionnels.
- L'adaptabilité au changement de vitesse du nœud est meilleure que les autres protocoles.

- **Inconvénient**

- Le problème se pose dans la connaissance des positionnements des véhicules si ces derniers ne sont pas équipés de GPS.

### 3.5.6 Algorithme de cluster basé sur une voie (Lane-based clustering algorithm)

Dans les systèmes de clustering basés sur la voie, on suppose que chaque véhicule connaît sa voie exacte via un système de détection de voie. Ainsi ils tiennent compte de la direction du trafic sur la route comme l'un des paramètres essentiels pour calculer les CHs des clusters efficaces et relativement stables dans VANET.

Il y a trois principaux flux de trafic à une intersection ; virage à gauche (Left Turn : LT), à droite (Right Turn : RT) et sans virage (No Turning : NT). LT est appliqué sur les voies les plus à gauche, il divise le trafic vers la gauche et de même pour RT. En outre NT est appliqué à la voie au milieu et si le trafic se dirige droit [1].

- **Avantage**

- Il réduit les frais généraux de clustering, ce qui se traduit par une topologie de réseau efficace.

- **Inconvénient**

- L'instabilité du réseau due aux modifications du CH et les reconfigurations de cluster qui ne peuvent être évitées dans des réseaux comme VANET.

### 3.5.7 Protocole HCA

C'est un algorithme qui crée un groupe hiérarchique aléatoire et rapide, dont le diamètre est d'au plus quatre sauts, sans l'utilisation du GPS. Au lieu de sélectionner attentivement les CHs initiales et de construire les clusters les plus stables, pendant la phase de maintenance, HCA essaie de créer des clusters dans lesquelles la distance maximale entre un véhicule CH et tout autre véhicule dans le cluster est deux sauts. Le seul facteur limitant dans la taille du cluster est la propagation radio, ce qui est évité en mettant en œuvre le clustering à deux sauts. HCA est simple et rapide, mais il ne supporte pas l'optimisation liée au modèle de mouvement du véhicule qui peut améliorer la stabilité du cluster et la durée du CH.

- **Avantage**

- Il est considéré comme très robuste, car il ne repose pas sur des systèmes de localisation comme le GPS, mais en déduisant la connectivité des messages envoyés.

- **Inconvénients**

- Le coût de transmission est très élevé.
- La stabilité du cluster est plus au moins faible.

### 3.5.8 Proocole COIN

COIN est un algorithme de routage ouvert pour l'interconnexion de véhicules. La sélection de CH est, basée sur la dynamique des véhicules et les intentions du conducteur ou de la mobilité relative, comme dans les méthodes classiques de clustering, c-à-d les clusters sont formés à base de la mobilité, de la position et de leur comportement dans divers Scénarios. La communication inter-véhicule (IVC), répond également à la nature oscillante des distances inter-véhicules. De même, la mobilité relative entre une tête de cluster et un nœud membre doit être inférieure à un seuil, de sorte qu'il reste en contact radio aussi longtemps que possible en réduisant la vitesse du nœud au mouvement [14].

- **Avantages**

- COIN alloue du temps à chaque cluster pour la transmission, ce qui réduit les frais généraux de contrôle.
- Ce protocole améliore la stabilité du cluster, en sélectionnant les nœuds qui ont le mouvement relatif similaire et la faible mobilité.

- **Inconvénients**

- La mobilité entre les nœuds reste faible pour maintenir la connexion radio entre les autres nœuds.
- Les frais généraux de la communication augmentent en essayant de réaliser la stabilité du cluster.

### 3.5.9 Protocole LORA-CBF

LORA-CBF est formé avec le CH et des nœuds membres et une ou plusieurs passerelles pour communiquer avec d'autres CHs. Chaque CH maintient une table de cluster, cette dernière est définie comme une table contenant les adresses et les emplacements géographiques des nœuds membres et de passerelles.

Lorsqu'une source tente d'envoyer des données vers une destination, elle vérifie d'abord sa table de routage, pour déterminer si elle connaît l'emplacement de la destination. Si c'est le cas, il envoie le paquet au voisin le plus proche de la destination. Sinon, la source stocke le paquet de données dans son tampon et démarre une minuterie pour diffuser les paquets de demande de localisation (LREQ) tels que seules les nœuds passerelles pouvant retransmettre le paquet LREQ. Les passerelles ne retransmettent qu'un paquet d'une passerelle vers l'autre afin de minimiser les retransmissions inutiles et uniquement si la passerelle appartient à un autre cluster [8].

- **Avantages**

- L'envoi des paquets se fait comme le routage gourmand.

- **Inconvénient**

- Les résultats de performance sont hétérogènes.

### 3.5.10 Protocole APROVE

Dans l'algorithme APROVE, chaque nœud transmet les messages de disponibilité à ses voisins, puis prend une décision sur le clustering indépendamment. Il en résulte un algorithme distribué, où chaque nœud ne se regroupe que dans le cluster à un seul saut en avec un objectif de créer des clusters stables [9].

- **Avantage**

- Cet algorithme maintient le cluster aussi longtemps que possible ce qui donne une

grande stabilité qui le rend adapté dans les environnement mobile et dynamique.

- **Inconvénient**

- Le coût de transmission est très élevé.

### **3.6 Comparaison des protocoles étudiés**

Le tableau ci-dessous fournit une analyse comparative de divers protocoles décrits précédemment, en considérant le nombre de métriques utilisés pour le clustering dans les VANETs. Ces métriques couvrent la plupart des domaines clés qui doivent être pris en compte pour la conception d'un protocole de clustering. Les métriques choisies pour la comparaison des protocoles étudiés sont les suivants :

paramètre de cluster, infrastructure supplémentaire , scénario, La direction relative d'un véhicule, frais généraux de clustering.

Protocoles	Paramètre de cluster	infrastructure supplémentaire	Scénario	Direction relative d'un véhicule	Frès généraux de clustering
<b>CBLR</b>	-	GPS et système de coordination locale	-	-	Moyen
<b>Coin</b>	-	-	-	-	Faible
<b>LORA-CBF</b>	Amelioration de l'emplacement	-	-	-	-
<b>DBMAC</b>	Clusternig distribué dynamique	Dispositif 802.11 et gps	Autoroute	Bidirectionnelle	-
<b>APROUVE</b>	Une propagation de mobilité fiable	GPS	Autoroute	Unidirectionnelle	haute
<b>Lane-based</b>	Direction de flux de la route	Systeme de detection de voie, compteur kilometrique etc.	Urbain	Unidirectionnelle	Faible
<b>HCA</b>	Randomisé de clustering multi-saut	-	Urbain	-	Faible
<b>SBCA</b>	Mobilité	-	Autoroute	Unidirectionnelle	Faible
<b>CBR</b>	Clustering multi-saut	-	Autoroute	-	Faible
<b>CBDRP</b>	Clustering multi-saut	-	Autoroute	Unidirectionnelle	Moyen
<b>TIBCRPH</b>	Clustering multi-saut	-	ville	Unidirectionnelle	Moyen

TABLE 3.1 – Comparaison des protocoles étudiés.

Après avoir examiné et comparé les différents protocoles étudiés, on a pu constater que :

- La plupart des protocoles de Clustering existants, utilisent une combinaison d'un paramètre qui décrit le comportement du véhicule et un autre paramètre pour optimiser la livraison des messages afin de générer des clusters. En raison de structure inhérente de ce dernier et des exigences des différents protocoles de clustering, une grande majorité des protocoles de regroupement évalués ont une topologie hiérarchique arborescente.
- Pour la Formation et maintenance de clusters, les véhicules dans un réseau peuvent nécessiter une infrastructure supplémentaire comme un GPS, système de détection de voie, cartes numériques, RSU, compteur kilométrique, etc. Pour satisfaire ces exigences, une modification matérielle supplémentaire est effectuée sur le réseau qui peut entraîner un regroupement plus efficace, mais peut ne pas être possible de mettre en œuvre, en fonction de l'environnement local. Ainsi, seuls quelques protocoles ont montré un besoin d'infrastructure supplémentaire et la plupart des protocoles s'appuient sur l'infrastructure de réseau de communication disponible pour le clustering.
- La direction relative d'un véhicule spécifie la direction des véhicules qui participent à la formation de clusters. Étant donné que le mouvement des véhicules dans un cluster pourrait être contraint par l'état de la chaussée, la direction des véhicules peut être la même, appelée mouvement unidirectionnel ou en sens inverse connu sous le nom de voie bidirectionnelle. La majorité des protocoles de clustering évalués ont considéré un mouvement de véhicule unidirectionnel pour la formation de clusters, car il augmente leur stabilité. Ceci est dû à la raison pour laquelle les véhicules dans un cluster peuvent être en contact pour un intervalle de temps plus large en cas de clustering unidirectionnel entre eux par rapport à un temps de contact relativement petit pour le clustering bidirectionnel.
- Les frais généraux utilisés pour la maintenance du cluster par le CH est un facteur important à étudier parce que certains des CM peuvent être situés aux coins du cluster et ont une mauvaise connectivité avec les CH, de sorte que ces noeuds peuvent ne pas être en mesure de communiquer avec leurs CH respectifs.

### 3.7 Conclusion

Après l'étude de certains protocoles de clustering dans ce chapitre, nous avons pu constater que ces derniers tentent à rendre la communication entre les véhicules plus efficace par de nombreux moyens. D'où le cas du protocole CBDRP, qui est conçu pour améliorer certains problèmes rencontrés dans le protocole CBR, en tenant en compte la direction et la vitesse des véhicules pour rendre les clusters plus stables.



Mais malgré tout ce qu'il apporte comme avantages, il néglige certains des facteurs essentiels comme, le délai de transmission et la perte des paquets élevés.

En guise d'améliorer les performances du CBDRP, on a proposé la variante CBDRP-DP que nous allons présenté dans le chapitre suivant.

---

# FONCTIONNEMENT ET EVALUATION DE PERFORMANCES DU PROTOCOLE CBDRP-DP PROPOSÉ

---

## 4.1 Introduction

Le routage hiérarchique est considéré comme l'une des solutions les plus importantes pour le maintien des liens entre les nœuds communicants, ainsi rendre le réseau plus au moins stable. Dans le chapitre précédent, nous avons étudié un ensemble des protocoles hiérarchiques, dont le protocole CBDRP, qui est conçu pour le scénario de l'autoroute. Etant donné que ce protocole souffre de certains problèmes, nous l'avons amélioré en proposant la variante CBDRP-DP (Cluster Based Directional Routing Protocol- Delay/Packet). Dans ce chapitre, nous allons voir les différentes étapes de fonctionnement de cette variante ainsi que son évolution de performances en la comparant avec le protocole initial CBDRP.

## 4.2 Protocole de base CBR

Le protocole de routage basé sur le cluster (Clustering Based Routing : CBR) est un protocole de routage hiérarchique dédié aux réseaux VANET. Il fonctionne comme suit : il divise géographiquement la zone de couverture en  $w^2$  grilles pour transmettre efficacement des paquets de données, tel que  $w$  représente la longueur latérale de la grille. Les nœuds dans une grille sont considérés comme des clusters. Le CBR sélectionne un CH pour chaque cluster, car la transmission de données sera effectuée par les CHs de clusters sélectionnés [30]. CBR fonctionne en deux étapes :

- Sélection des CHs des clusters.
- Sélection du CH optimal et routage des données.

### 4.2.1 Sélection des CHs des clusters

La procédure de sélection des CHs de clusters dans CBR est effectuée suivant les phases suivantes :

- Le CH candidat diffuse à ses voisins un message Lead ( $g, loc$ ), où  $g$  et  $loc$  désignent respectivement la coordonnée de sa grille et l'emplacement du CH.
- Un nœud A diffusera à ses voisins un message Apply ( $g, locA$ ) lorsqu'il ne recevra pas de message Lead dans un délai appelé T1, où  $g$  et  $locA$  désignent la coordonnée de sa grille et l'emplacement actuel de A, respectivement. Si son CH reçoit le message Apply et est toujours dans cette grille, le CH répondra à un message Lead à A. Si B qui n'est pas un CH reçoit le message Apply et se rapproche de son centre de grille, il répondra par Apply ( $g, locB$ ) à A, où  $g$  et  $locB$  désignent respectivement la coordonnée de sa grille et l'emplacement actuel de B. Si le nœud A ne reçoit pas de message Lead ou Apply dans un temps de temps appelé T2, il s'impose comme le CH.
- Lorsque le CH sort de sa propre grille, il diffusera Leave ( $g$ ), où  $g$  désigne la coordonnée de sa grille. Les nœuds de cette grille envoient un message Apply selon l'étape précédente pour élire un nouvel CH lorsqu'ils reçoivent le message Leave.
- Comme il peut y avoir plusieurs CHs, l'un d'eux annulera sa propre position de CH lorsqu'il reçoit un message Lead d'un autre plus près du centre du cluster, et n'envoyer plus de message Lead.

### 4.2.2 Sélection du CH optimal et routage des données

Le protocole CBR sélectionne la série optimale du CH en fonction de l'emplacement du nœud de destination, afin de transférer efficacement les paquets de la source vers le cluster de destination. Tel que le nœud ayant des paquets à envoyer demande au CH de transférer les paquets. Le CH peut avoir des paquets à transmettre. Donc, avant d'envoyer les paquets de ses membres, il commencera par ses propres paquets. La figure ci-dessous illustre la sélection du CH optimal selon le critère d'angle minimum. Tel que le CH A est supposé comme le CH demandé pour transférer des paquets du nœud source S.

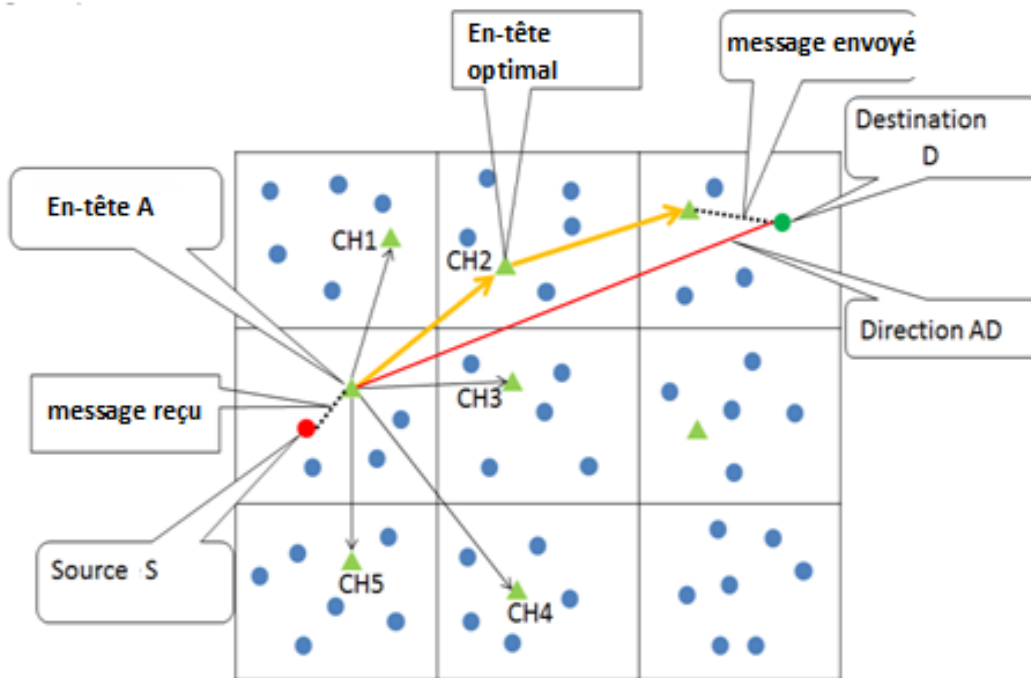


FIGURE 4.1 – Sélection CH optimal [8] .

Afin de sélectionner le CH voisin optimal, l'emplacement du nœud de destination est analysé à partir du nœud source en mesurant les angles entourés par deux rayons vers la destination et les clusters voisins provenant du CH source. Pour transférer le paquet, le CH optimal est alors choisi sous le critère d'angle minimum.

Le CH A recherche la table des CHs et constate que les nœuds CH1, CH2, CH3, CH4 et CH5 sont les CHs des clusters voisins. Parmi les angles formés entre le rayon A-D et les rayons A-CH1, A-CH2, A-CH3, A-CH4 et A-CH5, respectivement, le CH A détermine le chemin de routage optimal vers CH2 sous le critère d'angle minimum.

Dans le cas où il n'y a pas de CH dans la grille voisine, le nœud met en cache les paquets de données et attend la sélection d'un nouveau cluster. Cependant, ces paquets stockés sont ignorés si le temps de mise en mémoire cache sera dépassé, ce qui nécessite que le nœud source transmet les paquets de données à nouveau.

En passant à la procédure de routage, le nœud source envoie les paquets de données au CH identifié à partir de sa table des CHs. Ensuite, ce CH applique la procédure ci-dessus pour sélectionner le CH voisin optimal. La procédure est exécutée à plusieurs reprises jusqu'à ce que les paquets transférés atteignent le CH destination.

Certes, ce protocole règle plusieurs problèmes comme la diminution du coût de routage mais, son problème est qu'il ne tient pas en compte la vitesse et la direction des véhicules, ce qui conduit à l'instabilité des liens entre les nœuds du cluster.

Afin d'améliorer ce point, des chercheurs ont pensé à prendre en considération la vitesse et la direction des véhicule pour former des clusters plus stable, d'où le protocole CBDRP est conçu.

## **4.3 Protocole CBDRP**

Le protocole CBDRP (Cluser Based Dirictional Routing Protocol : CBDRP) a été proposé par T.Song et al. Ce protocole est une amélioration du protocole CBR. Il est conçu pour le scénario de l'autoroute où les clusters sont formés selon la direction de déplacement des véhicules. Pendant la transmission des données, la source envoie message au CH de son propre cluster, puis le CH , à son tour renvoie le message au CH qui se trouve dans le même cluster que la destination. Le CH finale transmet le message reçu vers la destination. Dans ce protocole , le lien ne sera maintenu que s'il existe un CH dans un cluster intermédiaire [20].

Le protocole CBDRP fonctionne en 3 étapes :

- Division en clusters.
- Sélection du CH.
- Procédure de routage des données.

### **4.3.1 Division en clusters**

Dans l'autoroute, les véhicules qui ont la même direction de déplacement sont divisés en plusieurs clusters, chaque véhicule est un nœud. Chaque nœud peut communiquer avec des nœuds des groupes voisins avec une communication radio. L'exemple de dévision en clusters est illustré dans la figure ci-dessous.

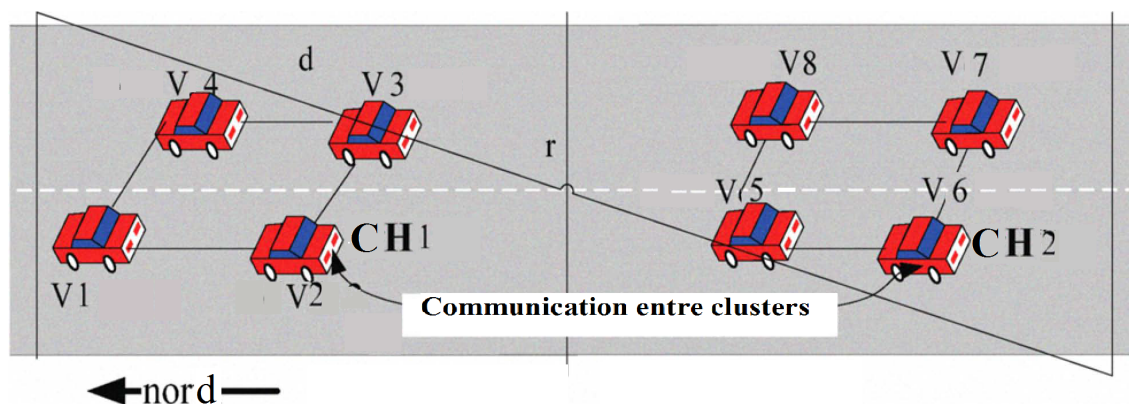


FIGURE 4.2 – Exemple de division en clusters.

Il existe deux clusters dans la figure 4.2, tel que la position centrale d'un cluster est fixée après division. On suppose que le rayon de la zone radio soit ( $r$ ), la longueur de chaque cluster est ( $d$ ), la largeur de la moitié de l'autoroute est ( $w$ ). Puisque  $d > w$ , donc le  $d$  est presque égal à  $r/2$ .

### 4.3.2 Sélection du CH

Après avoir divisé les clusters, un CH doit être sélectionné pour transférer des paquets de données au sein d'un cluster. L'algorithme de sélection du CH est comme suit :

- Le CH candidat diffuse le message Leader ( $c, loc, V$ ) tel que,  $c$  représente l'emplacement du cluster,  $loc$  représente l'emplacement du CH et  $V$  représente le vecteur de vitesse du CH.
- Si un nœud A ne reçoit pas le message Leader, il diffuse le message Apply ( $c, locA, VA$ ), dans lequel  $c$  représente l'emplacement du cluster,  $locA$  représente l'emplacement du nœud A,  $VA$  représente le vecteur de vitesse du nœud A.  
Si le CH de ce cluster reçoit le paquet Apply, il répond par le message Apply ( $c, locB, VB$ ).  
Si le nœud B qui n'est pas le CH et qui est proche du centre du cluster reçoit le message Apply, il répond par le même message Apply( $c, locB, VB$ ).  
Autrement, le nœud A se considère comme le nouvel CH s'il ne reçoit aucun message Apply de la part d'un CH ou des autres nœuds dans une période donnée après la diffusion.

- Le CH quitte son ancien cluster en diffusant le paquet Leave ( $c, T, V$ ), avec  $T$  représente la table d'information des CHs voisins et les membres de son propre cluster. Lors de la réception du paquet Leave, un nœud stockera temporairement la table  $T$  et sélectionne un nouvel CH comme dans la phase 2. Le nouvel CH sélectionné doit stocker la table  $T$  pour le routage.
- Il peut y'avoir parfois, plus qu'un seul CH, donc, pour éviter cette situation, l'un des nœuds abandonne son identité de CH s'il reçoit un paquet Leader d'un autre nœud plus proche du centre de cluster.  
Après l'achèvement de la procédure de sélection du CH, chaque CH sais à quel cluster il appartient et connaît la location des autres nœuds leader. A travers l'échange des messages de location dans le cluster, le CH connaîtra la location de tous les nœuds de sa zone de transmission.

### 4.3.3 Procédure de routage des données

Dans la procédure de routage, le CH envoie le paquet de demande d'itinéraire (Route Request : RREQ), le paquet de réponse d'itinéraire (Route Reply : RREP) et les paquets de données pour le CH voisin, et maintient sa propre table de routage ainsi que les informations des membres de son propre cluster. La procédure de routage peut être résumée ainsi :

- **Demande de routage** : lorsque le nœud source  $S$  envoie des paquets de données au nœud destination  $D$ , il demande d'abord au CH si le  $D$  se situe dans le même cluster. Si oui,  $S$  envoie un message de données directement à  $D$ , sinon  $S$  démarre la procédure de demande de routage, en envoyant le paquet RREQ au CH de son cluster. Ensuite, le CH sélectionne un CH de renvoi selon la direction de transmission définissant un vecteur de direction de transmission (Direction of transmission : DT) pour le représenter. Le prochain CH de renvoi demande si le  $D$  est dans son cluster lors de la réception d'un nouveau paquet RREQ. Si oui, le CH d'acheminement renvoie le paquet RREQ à  $D$ . Sinon, le CH de renvoi continue à interroger le nœud  $D$  jusqu'à TTL (Time To Leave) égal à zéro. Chaque CH doit ajouter une liste de route de renvoi et une liste d'itinéraire inverse à la table de route lors de la réception du paquet RREQ.

On utilise le vecteur DT pour sélectionner le CH le plus efficace. L'algorithme est illustré comme suit :

1<sup>ère</sup> **Étape** : le CH demande dans le tableau  $T$  s'il y a des CHs voisins en face de celui-ci en fonction de la direction de transmission de données DT. Si oui, passer à la 2<sup>ème</sup> étape,

sinon, passer à la 3<sup>eme</sup> étape.

**2<sup>eme</sup> Etape** : parmi les CHs voisins sélectionnés ( $V_1, \dots, V_n$ ) dans la 1<sup>ere</sup> étape, on calcule  $DT \times V_i$ .

Si  $DT \times V_i > 0$ , le CH voisin dont le vecteur de vitesse est  $V_i$  est sélectionné comme CH de renvoi.

S'il n'y a pas de CH voisin qui satisfait  $DT \times V_i > 0$ , le CH voisin qui est le plus éloigné est sélectionné comme en-tête de renvoi.

**3<sup>eme</sup> Etape** : le CH enregistre le message RREQ pendant une période de temps  $t_s$ . Puis continue la procédure de sélection du CH de renvoi. S'il n'ya pas de succès, le CH envoie le message REER au nœud source S.

- **Établissement de routage** : lorsque le nœud de destination D reçoit un paquet RREQ, il répond par le paquet RREP au nœud source S, selon la table de routage inverse, puis un lien de source vers destination est établi.
- **Maintenance des routes** : dans la procédure de routage de données, un lien se rompt à tout moment en raison de la mobilité élevée des véhicules. Ainsi, un mécanisme de maintenance des routes fiables est nécessaire pour reconstruire un nouveau chemin lorsque lien précédent est rompu.  
Dans CBDRP, les nœuds intermédiaires entreprennent la mission de routage de réparation. Lorsque les nœuds intermédiaires détectent la rupture du lien, ils prennent une stratégie de stockage et de transfert : stocke brièvement le message de données et envoie RREQ au nœud destination, le nœud destination répond par RREP lors de la réception de RREQ dans un temps  $t_w$ , ainsi la réparation de routage est réussite. Sinon, le nœud intermédiaire envoie REER au nœud source S. Dans cette situation, le nœud source effectuera une nouvelle procédure de demande de routage.
- **Déconnexion du lien** : lorsque la communication est terminée, le lien déconnecte et libère les ressources.

Si le protocole CBDRP a réussi à rendre les clusters plus stables par rapport au protocole CBR, il a comme même échoué en question de taux de perte de paquets transmis et le délai de transmission qui sont élevés par rapport au CBR, pour cela, nous avons proposé une solution améliorée du protocole CBDRP afin d'améliorer ses performances en termes de délai de transmission et la perte des paquets.



## 4.4 Notre protocole CBDRP-DP

Après avoir étudié le protocole CBDRP, nous avons proposé le protocole CBDRP-DP (Cluster Based Directional Routing Protocol- Delay/Packet) qui est une variante du protocole CBDRP. Ce protocole tente d'améliorer les performances de CBDRP en termes de délai de transmission et du taux de perte des paquets. Ce protocole est conçu pour les autoroutes où la vitesse est limitée à un certain seuil qu'il ne faut pas dépasser, ainsi le mouvement des véhicules sera plus au moins gérable en termes de stabilité du réseau. Les clusters sont formés selon la direction de déplacement des véhicules, puis deux CHs seront sélectionnés dans chaque cluster formé. Pendant la transmission des données, la source envoie le message directement au nœud destination si ces deux se trouvent dans le même cluster, sinon, la source demande aux deux CHs de son propre cluster, tel que le CH qui se trouve le plus proche du CH destination va s'en charger de la transmission du paquet vers le CH où se trouve le nœud destination. Enfin le CH destination transmet ce message vers la destination.

Notre protocoles fonctionne en 3 étapes :

- Formation du cluster.
- Sélection des deux CHs.
- Procédure de routage des données.

### 4.4.1 Formation des clusters

Pour la formation d'un cluster dans notre protocole, un nœud est choisi aléatoirement pour diffuser un message broadcast aux nœuds voisins, s'il reçoit des réponses pendant un temps prédéfini d'un ensemble de nœuds voisins, il forme avec eux un cluster.

Après la formation de ce cluster un autre nœud en dehors de ce dernier sera choisis aléatoirement pour répéter la même procédure jusqu'à formation de plusieurs clusters.

### 4.4.2 Sélection des deux CHs du cluster

Contrairement au CBDRP, où on a besoin d'une seule voiture qui va jouer le rôle de leader dans le cluster pour le transfert de paquet entre les cluster. Nous allons avoir besoin dans notre protocole à deux véhicules leader : FirstLeader et LastLeader.

Deux avantages ressortent en agissant ainsi, tout d'abord augmenter la résilience face à l'éventualité, où l'un des leaders quitte précipitamment le cluster on passera alors toutes les communications à l'autre leader du cluster.

Le deuxième avantage est d'augmenter la qualité et la rapidité des communications en divisant le trafic du cluster sur deux véhicules leaders au lieu d'un seul. Tel que FirstLeader se chargeant des communications vers les clusters devant ce dernier sur l'autoroute et LastLeader se chargeant des communications avec les clusters suivant ce dernier. L'algorithme (4.4.2.1) représente l'étape de sélection des véhicules Leader.

On suppose que l'algorithme (4.4.2.1) est exécuté entre les véhicules formant le cluster  $V_1, V_2, \dots, V_n$ , l'emplacement du cluster est représenté par  $c$ , l'emplacement du véhicule  $i$  dans ce dernier est  $locV_i$  et sa vitesse est  $VT_i$ .

- Les CHs sélectionnés envoient des messages FirstLeader ( $c, locV_i, V$ ) et LastLeader ( $c, locV_i, V$ ) aux autres véhicules du cluster, tout véhicule  $j$  qui ne reçoit pas ce message commence par envoyer deux différents messages ApplyFirst ( $c, locV_j, VT_j$ ) et ApplyLast ( $c, locV_j, VT_j$ ) pour réclamer son rôle.
- A la réception de ces messages par un véhicule  $k$ , deux cas se distinguent :
  - $1^{er}$  Cas : Le véhicule  $k$  est déjà un leader, donc, il envoie un message ApplyFirst ( $c, locV_k, VT_k$ ) s'il est le FirstLeader sinon il envoie un message ApplyLast ( $c, locV_k, VT_k$ ).
  - $2^{eme}$  Cas : le véhicule  $k$  n'est pas un leader alors deux autres sous-cas sont à distinguer
- En vérifiant sa position dans le cluster, il voit qu'il est mieux positionné pour jouer le rôle du LeaderFirst ou LeaderLast, il répond alors au véhicule  $i$  avec un message ApplyFirst/Last ( $c, locK, VT_k$ ).
- Sinon il prend en considération que le véhicule  $j$  est le véhicule leader (toute fois en prend un certain délai d'attente pour vérifier qu'il ne reçoit pas de meilleure proposition d'un autre véhicule).
- Si l'un des deux CHs quitte son ancien cluster, il diffuse le paquet Leave ( $c, T, V$ ), dans lequel  $T$  représente la table d'information des CHs voisins et les membres de son propre cluster. Lors de la réception du paquet Leave, le deuxième CH stockera temporairement la table  $T$ , pendant qu'un nouvel CH se trouvant à l'extrémité sera sélectionné.

#### 4.4.2.1 Pseudo algorithme pour la sélection des deux CHs

L'algorithme suivant, résume les étapes de sélection des deux CHs dans le protocole CBDRP-DP.

1. **si** ( $\forall j \in (V_1, V_2, V_n)$  et Apply ==  $\neg$  reçu) **alors**
- 1.2. Envoyer ApplyFirst(c, loc  $V_J, VT_j$ )
- 1.3. Envoyer ApplyLast (c, loc  $V_J, VT_j$ )
2. **finsi**
3. **si** (véhicule K  $\leftarrow$  ApplyFirst/Last(c, loc  $V_K, VT_K$  )) **alors**
- 3.1. **si** (K == Leader ) **alors**
- 3.2. Envoyer ApplyFirst/Last(c, loc  $V_K, VT_K$ )
- 3.3. **sinon**
- 3.3.1. Envoyer ApplyFirst/Last(c, loc  $V_K, VT_K$ )
- 3.3.2. **si** ( K = meilleur position )
- 3.3.3. Envoyer ApplyFirst(c, loc  $V_K, VT_K$ )
- 3.3.4. **sinon**
- 3.3.5. Envoyer ApplyLast(c, loc  $V_K, VT_K$ )
- 3.3.6. **finsi**
- 3.4. **finsi**
4. **finsi**

## 4.5 Procédure de routage des données

Dans cette procédure, les clusters utilisent deux méthodes de routage, une méthode intra-cluster pour la communication entre les membres du même cluster et une méthode inter-cluster pour la communication des CHs se situant dans des clusters différents. Les étapes de ce routage de données se font comme suit :

- **Intra-cluster**

Si le nœud source S veut envoyer des paquets de données au nœud destination D qui se situe dans le même cluster, l'envoi se fait directement en utilisant le canal de transmission inter-cluster sans demander aux deux CHs la localisation de D puisque les informations de chaque membre de cluster sont déjà stockées.

- **Inter-cluster**

Si le nœud destination ne se situe pas dans le même cluster que le nœud source, ce

dernier démarre la procédure de demande de routage, en envoyant le paquet RREQ aux deux CHs de son cluster. Ensuite, les deux CHs envoient le message RREQ aux CHs de clusters voisins à travers le canal intra-cluster, si l'un des CHs trouve la destination, il se charge de la transmission. Chaque CH doit ajouter une liste de route de renvoi et une liste d'itinéraire inverse à la table de route lors de la réception du paquet RREQ.

- **Établissement de routage** : lorsque le nœud de destination D reçoit un paquet RREQ, il répond par le paquet RREP au nœud source S, selon la table de routage inverse, puis un lien de source vers destination est établi.
- **Déconnexion du lien** : Lorsque la communication est terminée, le lien déconnecte et libère les ressources.

## 4.6 Evaluation des performances

Nous évaluons les performances et nous validons l'efficacité de notre protocole CBDRP-DP en le comparant avec le protocole CBDRP.

Dans cette section, nous décrivons les métriques de performances, les paramètres de simulation et nous discutons les résultats de simulations obtenus à partir de la comparaison des deux protocoles : CBDRP et CBDRP-DP.

## 4.7 Métriques d'évaluation de performances

Les métriques sont des paramètres de test du protocole de routage qui permettent de mesurer les performances de celui-ci.

Dans notre étude, nous avons pris en compte les métriques suivantes :

### 4.7.1 Délai de transmission

C'est le temps écoulé entre l'envoi d'un paquet de donnée par un nœud source et sa réception par le nœud destinataire. Nous calculons ce délai suivant la formule :

Nombre de message reçu / délai de simulation.

### 4.7.2 Perte des paquets

C'est le nombre de paquets perdus par rapport au nombre total de paquets émis. Nous calculons la perte des paquets selon la formule suivante :

Nombre de paquets perdus = nombre de paquet émis - nombre de paquets reçus.

### 4.7.3 Paramètres de simulation

Afin de valider notre protocole CBDRP-DP, nous avons développé notre propre simulation sous java [10]. Nous avons effectué une série de simulation dans un champ de  $100 * 10 m^2$ . Ce dernier représente l'espace de mobilité des différents véhicules ainsi il montre les différents clusters obtenus après l'application de notre protocole.

Pour notre simulation, les paramètres utilisés sont présentés dans la table suivante.

<b>Paramètres de simulation</b>	<b>Valeur</b>
Zone de simulation	$100 * 10 m^2$
Protocole de clustering	CBDRP-DP
Nombre de véhicules	20
Vitesse des véhicules	100 km/h
Porté inter-cluster	5 m/s
Porté intra-cluster	25 m/s
Taille des paquets	Fixe
Taille des files	Fixe

TABLE 4.1 – Paramètres de simulation.

### 4.7.4 Implémentation et résultats obtenus

Dans ce qui suit, nous allons montrer les résultats auxquels nous avons abouti à travers l'implémentation du protocole CBDRP-DP, tel que les deux figures suivantes montrent les différences qui existent entre ce dernier et le protocole CBDRP.

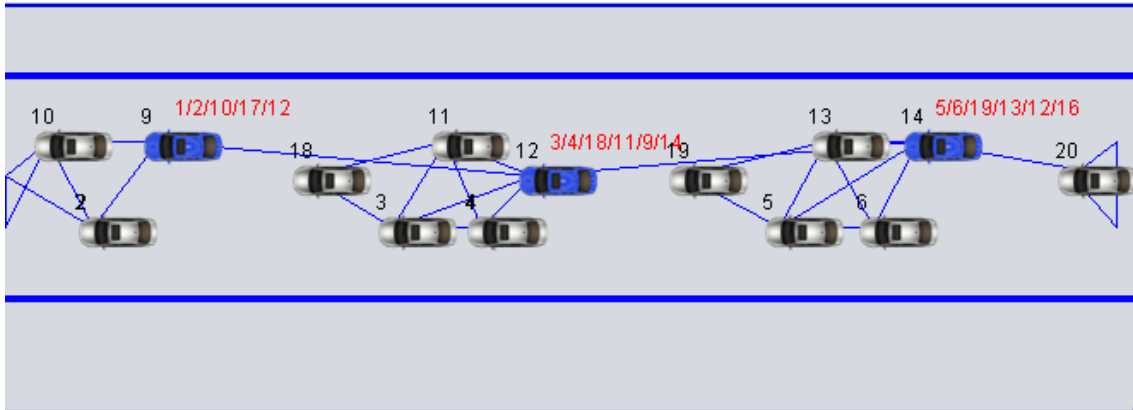


FIGURE 4.3 – Résultat de clustering dans CBDRP.

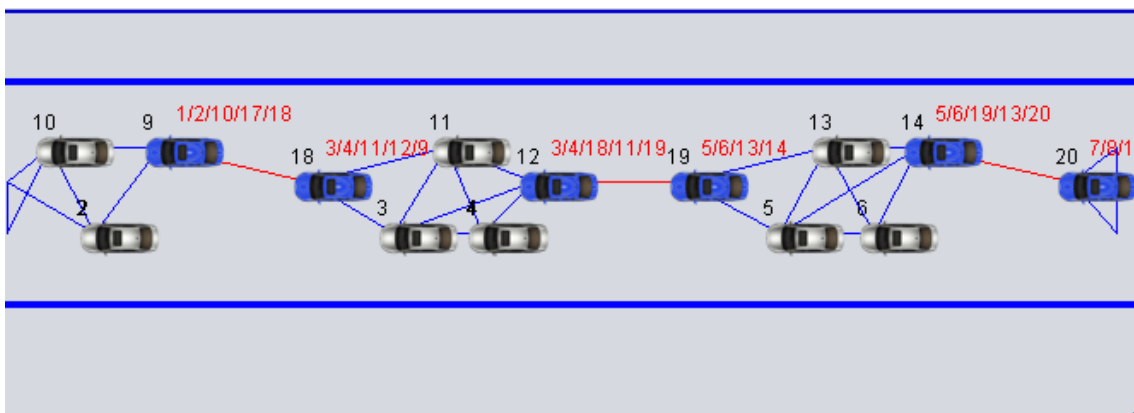


FIGURE 4.4 – Résultat de clustering dans CBDRP-DP.

Les figures (4.3 et 4.4) montrent la différence entre le protocole CBDRP et le protocole variant CBDRP-DP pendant la phase de formation des clusters.

Dans la figure 4.3, il y a un seul CH dans chaque cluster représenté par le véhicule bleu, et un seul canal de transmission représenté par des lignes bleues entre tous les nœuds des clusters. Cependant, dans la figure 4.4, il existe deux véhicules bleus dans chaque cluster, qui représentent les CH sélectionnés pour chacun de ces derniers. Il existe aussi deux canaux de transmissions. Les lignes représentées par la couleur bleu désignent le canal de transmission intra-cluster qui s'en charge de la communication entre les membres du même cluster. Quant aux lignes rouges entre les CH désignent le canal de transmission intra-cluster qui s'en charge de la communication entre les membres de clusters différents.

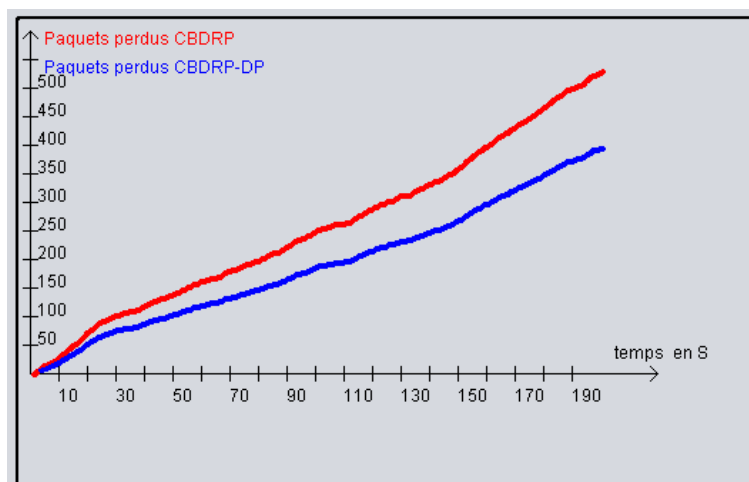


FIGURE 4.5 – Nombre de paquets perdus dans CBDRP et CBDRP-DP.

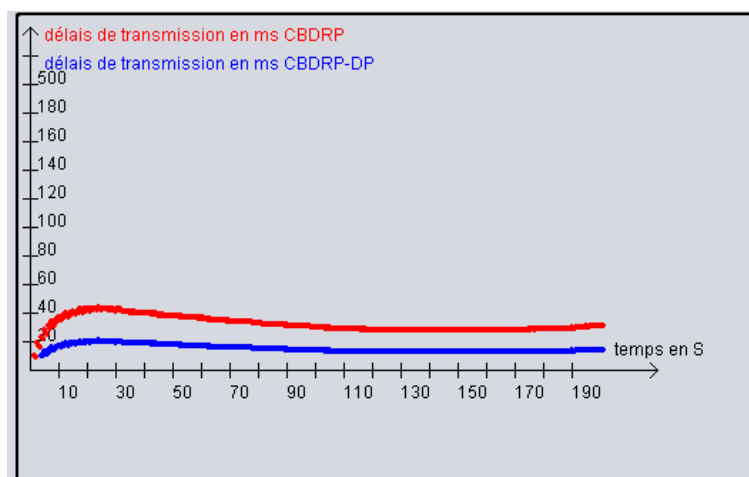


FIGURE 4.6 – Délais de transmission dans CBDRP et CBDRP-DP.

Les figures (4.5 et 4.6) représentent le nombre de paquets perdus et le délai de transmission par rapport au temps de simulation.

La figure 4.5 montre que la perte des paquets dans le protocole CBDRP-DP est moins que celle dans le protocole CBDRP, due à l'utilisation de deux canaux de transmissions au lieu d'un seul canal. Cela permet de diminuer les messages de contrôles échangés dans le réseau par conséquent diminuer les collisions des paquets et augmenter le nombre de paquets transmis.

Dans la figure 4.6, on constate que le délai dans CBDRP-DP est moins que celui dans CBDRP qui est due aussi à l'existence de deux CHs aux deux extrémités de chaque cluster, cela diminuera la distance de transmission et mènera ainsi à diminuer le délai de transmission.

## 4.8 Conclusion

Au cours de ce dernier chapitre, nous avons présenté le protocole CBDRP-DP que nous avons proposé afin d'améliorer le protocole CBDRP. Notre protocole assure la rapidité de transmission de données avec un minimum de perte des paquets transmis. Les résultats de simulation que nous avons obtenus montrent l'efficacité du protocole CBDRP-DP en termes de diminution de perte des paquets et du délai de transmission par rapport au protocole CBDRP.



# Conclusion générale et perspectives

Les réseaux ad hoc de véhicules forment un nouveau type de réseaux issu des réseaux ad hoc mobiles (MANET). Ils se composent d'un nombre de véhicules circulant sur des routes, capables de communiquer entre eux sans une infrastructure fixe.

Pour communiquer entre eux, les véhicules doivent définir un routage permettant de faire face au changement rapide de topologie et aux fragmentations fréquentes caractérisant ce type de réseaux.

Dans les réseaux VANETs, il existe plusieurs classes de routage. Notre domaine d'étude s'est concentré sur la classe de routage hiérarchique. L'étude critique de certains protocoles de cette classe nous a permis de tracer la ligne directrice de notre objectif, qui est l'amélioration du protocole CBDRP. La variante améliorée du protocole CBDRP, baptisée CBDRP-DP, utilise deux Cluster-Heads (CHs) par cluster avec deux canaux de transmission différents. Un canal est utilisé par les membres du cluster alors que le deuxième est réservé pour les CHs des différents clusters.

L'étude comparative menée par simulation entre les performances du protocole CBDRP et notre protocole CBDRP-DP a été réalisée avec le langage JAVA. Les résultats obtenus montrent que notre protocole améliore les performances du réseau VANET en termes de taux de paquets perdus ainsi que le délai de transmission de données.

En guise de perspective, nous envisageons de simuler notre protocole avec le simulateur NS2 pour avoir des résultats plus proches du réel, ainsi que nous souhaitons évaluer ses performances avec une méthode analytique comme : réseaux de PETRI, chaînes de MARKOV, etc.

# Bibliographie

- [1] A. Hafid A. Ahizoune. A new stability based clustering algorithm for VANETs, in : IEEE Local Computer Networks Workshops, Clearwater, fl, (843-847). ( 2012).
- [2] H. T Kung B. Karp. GPSR : greedy perimeter stateless routing for wireless networks. In mobile Computing and Networking, In Proceedings of the 6th annual International conference on Mobile Computing and Networking , (243-254). (aout 2000).
- [3] M. J. Islam B. Paul. Survey over VANET Routing Protocols for Vehicle to Vehicle Communication , IOSR Journal of Computer Engineering IOSRJCE ;, ISSN : 0661-2278, 7, (01-09 ). (Decembre 2012).
- [4] A. Bachir and A. Benslimane. A multicast protocol in Ad Hoc Networks Iinter-Vehicle Geocast, Vehicular Technology Conference, the 57th IEEE Semiannual, 4 , pp. 2456-2460. (Janvier 2003).
- [5] M. Boufarah. Méthodes utilisant des fonctions de croyance pour la gestion des informations imparfaites dans les réseaux de véhicules,thèse de doctorat , université d'Artois, spécialité génie informatique et automatique. (Décembre 2014).
- [6] H. Bouzebiba and Y. Bouizem. Impact des modèles de mobilités sur les performances des protocoles de routage en milieu urbain réaliste dans les réseaux VANET (v2v), mémoire de fin d'études Pour l'obtention du diplôme de master en informatique ,université Abou Bakr Belkaid de Telemcen , spécialité réseaux et systèmes distribués. (Juin 2015).
- [7] C. Burgod. Contribution à la sécurisation du routage dans les réseaux ad hoc, thèse de doctorat, université de Limonge, spécialtié informatique. (Octobre 2009).
- [8] B. Hassanabadi C. Shea and S. Valaee. Mobility based clustering in VANETs using affinity propagation, in : IEEE Conference on Global Telecommunications, Hon-olulu, (1-6). ( 2009).
- [9] O. Carson. technique de controle de congestions et de dissémination d'un formations dans les reséaux véhiculaire, thèse de doctorat, Université de Sheurbrooke , Spécialité Génie Electriques. (septembre 2014).
- [10] C. DELANNOY. Programmer en Java : Java 5 et 6.

- [11] F.Safaei D.Frankliny, M.Rosz and M.Abolhasany. A comparative survey of VANET Clustering Techniques Craig Cooper, ict Research Institute, university of Wollongong, wollongong NSW 2500, australia.
- [12] F. Ozguner E. Ekici and G. Korkmaz. An Efficient Fully Ad-Hoc Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicular.In Communication Systems, icc'06. IEEE International Conference Department of Electrical and Computer Engineering, The Ohio State University, 1, pp. 423-428. (Juin 2006).
- [13] M. Erritali. Contribution à la sécurisation des réseaux ad hoc véhiculaires, thèse de doctorat, Université de MOHAMMED V-AGDAL , Spécialité Informatique. (Octobre 2013).
- [14] J. Taheri F. Ahammed and A. Z. Lica. robust localization using cluster analysis to improve gps coordinates, in Proceedings of the first ACM International Symposium on Design and analysis of intelligent vehicular networks and applications, (39-46). ( 2011).
- [15] M. Kihl and all. Reliable Geographical Multicast Routing in Vehicular Adhoc Networks, Wired/wireless internet communications, springer berlin heidelberg , (315-325). (Janvier 2007).
- [16] A. korichi. Analyse des protocoles de routage dans les réseaux vanet,meoire master académque , université d'ouargula, spécialité Informtique Industrielle. (juin 2014).
- [17] G. Korkmaz. Gps Based Wireless Communication Protocols for Vehicular Ad- Hoc Networks Dissertation, Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of the Ohio State University, 20(2), pp. 14-30. (Juin 2006).
- [18] Y Liu and al. The insights of message delivery delay in VANETs with a bidirectional traffic model. Journal of Network and Computer Applications, (1287-1294). (2013 ).
- [19] H. Menouar. Prédiction de Mouvement pour le Routage et le Contrôle d'Accès au Canal dans des Réseaux Sans-Fil Véhiculaires, thèse de doctorat, ecole nationale supérieur des télécommunications de Paris, spécialité informatique et réseaux. (Février 2008).
- [20] M.C. Weigle M.S. Almalag. Using traffic flow for cluster formation in vehicu-lar ad-hoc networks , in : 35th IEEE Conference on local Computer Networks, denver, co, (631-636). ( 2010).
- [21] H.singh N.Kaur and A.Nagpal. Various Routing Protocols based on VANETs : A Survey , International Journal of Computer Applications , 106(8), (0975 - 8887). (No-vembre 2014).

- [22] A. Edwards R. A. Santns, R. M. Edwards and D. Belis. A novel cluster-based location routing algorithm for intervehicular communication, personal, Indoor and Mobile Radio Communications, IEEE proceedings of the 15th Annual Symposium,. (2004 ).
- [23] B. Senouci R. Meraihi and M. Djebri. Analysis and comparative study of topology and position based routing protocols in VANET, International Journal of Engineering Research and General Science, issue 1, issn 2091-2730 , 4. (Janvier- fevrier 2016).
- [24] B. Senouci R. Meraihi and M. Djebri. Réseau mobile Ad Hoc et réseaux de capteurs sans fil, thèse de doctorat, université de Bordeaux, spécialtié informatique. (Janvier 2006).
- [25] M. Bakht R.Crepaldi and R. Kravets. Quicksilver : application-driven inter-and intra-cluster communication in vanets, in proceedings of the third ACM International workshop on Mobile Opportunistic Networks. (2012 ).
- [26] R.S.Bali. Efficient Secure Data Clustering in Vehicular Ad hoc Networks, thèse de doctorat , Computer Science and Engineering Departement THAPAR University, PATTIALA - 147004. (octobre 2016 ).
- [27] J. Macker S. Carson. Mobile Ad Hoc networking (MANET) Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. (Janvier 1999).
- [28] s.allal. Optimisation des échanges dans le routage géocast pour les réseaux véhicules ad hoc VANET, thèse de doctorat, université de Paris 13, spécialtié Réseaux et Techniques Informatiques. (Avril 2014).
- [29] O. K. Tonguz and all. Broadcasting in VANET, Proc, IEEE INFOCOM MOVE Workshop , Anchorage, USA. (Octobre 2007).
- [30] W. Zhang Y. Luo and Y. Hu. A New Cluster Based Routing Protocol for VANET, IEEE Wireless Communications and Trusted Computing,. (2010 ).
- [31] C. K. Yeo Y.Xia and B. S. Lee. Hierarchical Cluster Based Routing for Highly Mobile Heterogeneous manet , In Network and Service Security, n2s09, International Conference on iee , (1-6). (Juin 2009).

# Résumé

Le routage hiérarchique dans les réseaux VANET est considéré comme une solution prometteuse pour améliorer considérablement les performances de ces réseaux. Dans notre travail, nous avons amélioré le protocole hiérarchique CBDRP (Cluster Based Directional Routing Protocol), en proposant la variante CBDRP-DP (Cluster Based Directional Routing Protocol-Delay/Packet).

L'objectif principal du protocole CBDRP-DP est de réduire le taux de perte des paquets ainsi que diminuer le délai de transmission de données. Pour atteindre ses objectifs, CBDRP-DP utilise deux Cluster-Heads (CHs) par cluster avec deux canaux de transmission différents. Un canal est utilisé par les membres du cluster alors que le deuxième est réservé pour les CHs des différents clusters.

L'étude comparative menée par simulation entre les performances du protocole CBDRP et notre protocole CBDRP-DP a été réalisée avec le langage JAVA. Les résultats obtenus montrent que notre protocole améliore les performances du réseau VANET en termes du taux de paquets perdus ainsi que le délai de transmission de données.

**Mots clés :** Réseaux VANETs, protocole de routage, clustering dans VANET, protocole CBDRP, évaluation de performances.

# Abstract

Hierarchical routing in VANET networks is seen as a promising solution to improve the performance of these networks. In our work, we have improved the hierarchical protocol CBDRP (Cluster Based Directional Routing Protocol), by proposing the CBDRP-DP variant (Cluster Based Directional Routing Protocol-Delay / Packet). The main objective of the CBDRP-DP protocol is to reduce the packet loss rate and reduce the data transmission delay. To achieve its objectives, CBDRP-DP uses two Cluster-Heads (CHs) per cluster with two different transmission channels. A channel is used by the cluster members while the second is reserved for the CHs of the different clusters. The comparative study carried out by simulation between the performances of the CBDRP protocol and our CBDRP-DP protocol was realized with the JAVA language. The results show that our protocol improves the performance of the VANET network in terms of the rate of lost packets as well as the delay of data transmission.

**Keywords :** VANET networks, routing protocol, clustering in VANET, CBDRP protocol, performance evaluation.