

Routage dans les VANETs

2.1 Introduction

Le routage des données permet d'assurer un relayage efficace des paquets vers la destination. Ainsi, déterminer le meilleur chemin et le maintenir se présente comme un processus assez complexe dans les réseaux VANETs. Cela est dû à la mobilité élevée des véhicules et les changements rapides de la topologie. Par conséquent, le choix d'un chemin devient crucial pour la conception des protocoles de routage de ces réseaux à forte dynamique. Cependant, le routage reste l'un des principaux défis auquel il faut faire face.

Dans ce chapitre, nous allons présenter en premier, les métriques de performance utilisées dans la sélection des routes dans les réseaux VANETs. Par la suite, nous exposerons une classification des protocoles de routage conçus ou réadaptés aux VANETs, tout en présentant certains protocoles de chaque classe. Enfin, nous allons comparer les protocoles examinés selon les métriques définies précédemment.

2.2 Métriques de choix des routes dans les VANETs

L'acheminement des paquets d'une source vers une destination peut se faire de deux façons distinctes ; directement avec un seul saut si la source et la destination sont connectées directement l'une avec l'autre. Sinon, par étapes avec plusieurs sauts (multi-saut). Dans ce cas, la communication se fait via des nœuds intermédiaires positionnés entre la source et la destination. Lors d'une communication multi-saut, le chemin est choisi en fonction de divers facteurs [48] tels que :

- **Le taux de livraison des paquets (Packet Delivery Ratio, PDR)** : c'est le rapport entre le nombre total des paquets de données reçus par les nœuds destinations et le nombre total de paquets de données émis par les nœuds sources.
- **Le cout du routage normalisé (Normalized Routing Load, NRL)** : c'est le rapport entre le nombre total de tous les paquets de contrôle de routage envoyés par tous les nœuds sur le nombre de paquets de données reçus aux nœuds de destination.
- **La latence** : c'est le temps écoulé entre le moment où un paquet de donnée est envoyé et celui où il est reçu par le destinataire correspondant.

- **La bande passante** : c'est le volume des paquets de données qui peut être transféré d'un nœud émetteur à un autre récepteur. Généralement, elle s'exprime sous la forme d'un débit binaire mesuré en bits par seconde (bps).
- **La gigue** : c'est la différence du délai de deux paquets successivement reçus.

2.3 Classification des protocoles de routage dans les VANETs

le routage dans les VANETs a fait l'objet de plusieurs travaux dans la littérature [45, 46, 47]. Dans le reste de cette section nous présentons une classification des protocoles proposées pour les réseaux VANETs tirée de [45], tout en examinant les caractéristiques principales de chaque classe.

Cependant, les protocoles de routage peuvent être classés en trois grandes familles (voir la figure 2.1).

- ☞ Selon la stratégie du routage (proactif, réactif, hybrid).
- ☞ Selon le type du routage (Unicast, multicast (géocast), broadcast).
- ☞ Selon la structure du réseau (protocoles basés position, protocoles basés clustering).

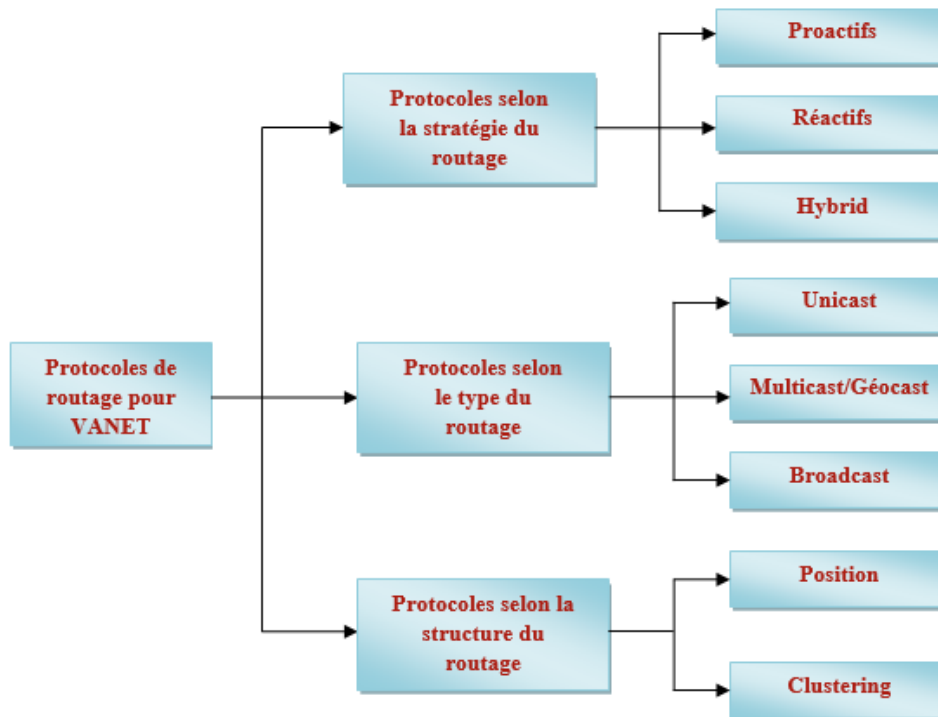


FIGURE 2.1 – Classification des protocoles de routage dans les VANETs.

2.3.1 Selon la stratégie du routage

Les protocoles de routage de cette famille utilisent les informations sur les liens qui existent entre les nœuds pour l'acheminement des paquets. Cette famille de protocoles peut être divisée en trois classes : proactifs, réactifs et hybrid.

2.3.1.1 Protocoles de routage proactifs

Les protocoles proactifs [21] sont similaires aux protocoles utilisés dans les réseaux filaires, qui utilisent les deux principales méthodes (état de lien et vecteur de distance). Chaque nœud garde une image globale de la topologie de tout le réseau dans une forme de tableaux. Ces derniers contiennent des informations concernant toutes les destinataires. Un nœud fait un échange périodique de messages de contrôles avec les autres nœuds pour maintenir ces tables de routage à jour. À base de ces tables il détermine le meilleur chemin ou route pour acheminer les données.

Dans ce type de protocoles, la disponibilité immédiate de route lors du besoin est un gain de temps ; chaque nœud dispose à tout instant d'un chemin vers n'importe quel autre nœud du réseau. Cependant, la bande passante se diminue à cause du trafic généré par l'échange de paquets de contrôles. Parmi les protocoles basés sur ce principe : OLSR, FSR et GSRP [24]. Nous allons décrire dans ce qui suit l'un des protocoles les plus cités de cette classe :

☞ Le protocole OLSR (Optimized Link State Routing)

OLSR [23] est un protocole de routage proactif à état de lien. Il offre des routes optimales en termes de nombre de sauts dans le réseau.

Dans un protocole à état de lien chaque nœud déclare ses liens directs avec ses voisins à tout le réseau. Cependant, dans le protocole OLSR, les nœuds ne déclarent qu'une sous partie de leur voisinage.

L'ensemble des voisins s'appelle l'ensemble de relais multipoint ou MPRs (Multi Point Relaying). Les routes sont construites à base de ces relais qui sont utilisés pour minimiser le trafic dû à la diffusion des messages de contrôle dans le réseau.

Au fait, le protocole OLSR effectue deux actions principales :

- Envoyer le message HELLO et déterminer les MPRs pour la détection de voisinage (voir la figure 2.2).
- L'intervention des messages TC (diffuser les informations de topologie), MID (pour publier la liste des interfaces de chaque nœud) et HNA (pour déclarer les sous-réseaux et hôtes joignables par un nœud jouant le rôle de passerelle) pour la gestion de topologie.

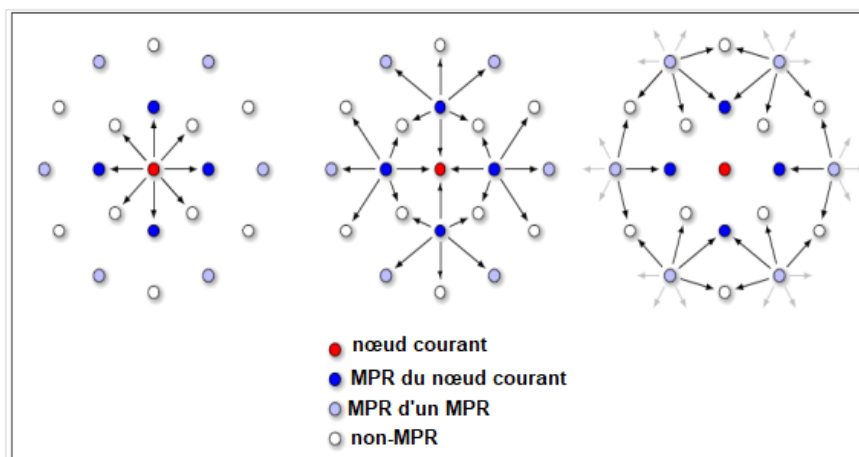


FIGURE 2.2 – Sélection des MPRs dans OLSR.

2.3.1.2 Les protocoles de routage réactifs (on-demand driven)

Dans les protocoles réactifs, le chemin n'est calculé que sur demande. L'opération de routage dans ce protocole comporte deux phases principales :

- La découverte de route pour l'acheminement de données vers une destination ; cette étape est assurée par la diffusion d'un message de recherche de route.
- La maintenance des routes existantes dans le cas de changement de la topologie du réseau.

Le routage réactif minimise l'échange de messages de contrôle ce qui libère la bande passante. A l'instar les protocoles proactifs, la latence de recherche d'itinéraire est élevée dans ce type de routage. Parmi les protocoles les plus connus, on peut citer : DSR, AODV et TORA [28]. Dans le reste de ce paragraphe, nous allons décrire les protocoles AODV et DSR.

☞ Le protocole AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing)

Le protocole AODV [27] est l'un des plus célèbres protocoles de routage réactifs. Les chemins sont découverts et maintenus à la demande. Lorsqu'un nœud émetteur souhaite envoyer des données à un nœud destinataire, la première étape consiste à diffuser à tous les nœuds du réseau un message RREQ (Route REQuest) de découverte de route. Par conséquent, lors de la réception d'un message RREQ, chaque nœud agit en fonction des cas de figure suivants :

- Si il n'est pas le destinataire, alors le nœud retransmet le message RREQ en ajoutant sa propre adresse dans le chemin de routage.
- Si il n'est pas le destinataire et si le message RREQ contient déjà sa propre adresse dans le chemin de routage, alors le nœud élimine le message sans le transmettre.
- Si il est le destinataire, alors le nœud renvoie un message RREP (route reply) en suivant le chemin de routage contenu dans le message RREQ.
- Au fait , le message RREP est le message de confirmation d'établissement d'une connexion entre émetteur et récepteur. Dès que l'émetteur reçoit ce message, la

communication peut commencer.

- Ne reçoit aucune réponse dans une période de temps donné, il supposera que le chemin n'est pas disponible.

☞ Le protocole DSR (Dynamic Source Routing)

Le protocole DSR [26] reprend le principe du protocole DSDV. Ce protocole construit les tables de routages de façon réactive en se basant sur l'état des liens. En effet, la modification de la table se fait seulement lorsque l'état des liens varie. De plus, il copie les IDs (identités) des nœuds traversés dans l'en-tête du message pour permettre au message de retrouver son chemin vers la source.

De ce fait, le protocole DSR peut ainsi choisir des routes alternatives s'il les considère comme meilleures. Il possède ainsi une réactivité plus rapide que celle du protocole AODV en cas de perte de liaison avec un nœud. Toutefois, DSR 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.

2.3.1.3 Les protocoles de routage hybrid

Il s'agit d'une combinaison des protocoles proactifs et réactifs [26] tels que ZRP, HARP [30] et HLAR [31]. Cette famille de protocoles utilise le mécanisme des protocoles proactifs pour garder la connaissance de la topologie pour un nombre prédéfini de sauts. Au-delà de cette zone prédéfinie les routes vers des nœuds plus lointains sont obtenues par les techniques des protocoles réactifs, c'est à dire l'envoi des requêtes en diffusion. Ces protocoles s'adaptent bien aux réseaux plus ou moins denses. Néanmoins, les protocoles de cette classe cumulent les inconvénients hérités de deux approches à savoir les paquets de contrôle périodiques et le délai de découverte de routes.

Nous allons décrire dans ce qui suit le protocole ZRP l'un des plus importants protocole de cette classe.

☞ Le protocole ZRP (Zone Routing Protocol)

Le protocole du routage ZRP [29] est un protocole hybrid qui combine les deux approches proactive et réactive à la fois. Ce protocole divise le réseau en plusieurs zones. Pour chaque nœud, il définit une zone de routage exprimée en nombre de sauts maximal. Ainsi, la zone de routage d'un nœud inclut tous les nœuds qui ne dépassent pas cette distance maximale de sauts. Les nœuds qui sont exactement à cette distance, sont appelés nœuds périphériques. Le routage au sein d'une zone se fait de manière proactive, alors que le routage vers les nœuds extérieurs de la zone se fait de façon réactive. En plus, le ZRP utilise un protocole BRP (Bordercast Routing Protocol), dont le but est de construire la liste des nœuds périphériques d'une zone et les routes permettant de les atteindre. Cependant, la procédure de recherche des chemins s'effectue comme suit :

- Si le nœud destinataire se trouve dans la zone du nœud source, le chemin est supposé déjà connu.
- Sinon, une demande d'établissement de route RREQ est initiée vers tous les nœuds périphériques. Ces derniers vérifient si la destination existe dans leurs zones. Dans ce cas la source recevra un paquet RREP (route reply) contenant le chemin menant à la destination. Dans le cas contraire, les nœuds périphériques diffusent la requête à leurs propres nœuds périphériques qui, à leur tour, effectuent le même traitement. Un exemple de zone dans le protocole ZRP est donné à la figure 2.3.

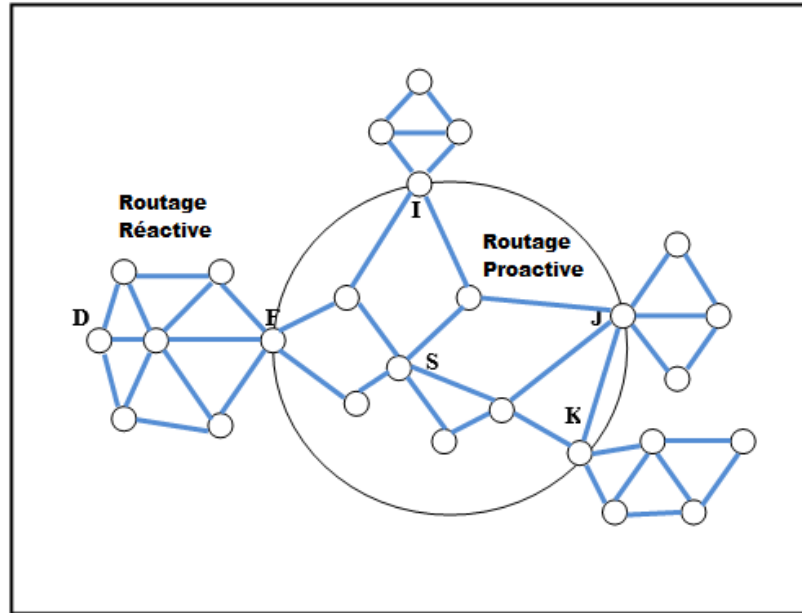


FIGURE 2.3 – Un exemple de zone dans le protocole ZRP.

2.3.2 Selon le type du routage

La transmission de l'information à partir d'une source vers une destination peut être classée en trois types distincts : unicast, multicast/géocast et broadcast.

2.3.2.1 Protocoles unicast

Le routage unicast [26] se réfère à la transmission de l'information à partir d'une source unique vers une destination unique en utilisant une communication multi-saut, où les nœuds intermédiaires ont comme rôle la transmission des données de la source à la destination (ceci est montré dans la figure 2.4). Pour ce faire, la stratégie de stockage et transmission utilisée.

Il existe de nombreux protocoles de routage unicast comme par exemple le protocole DSDV [22].

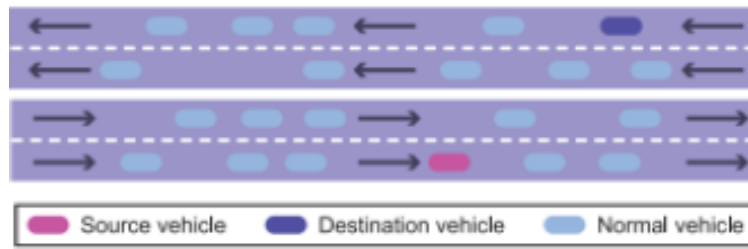


FIGURE 2.4 – Routage unicast.

☞ Protocole DSDV (Dynamic Destination-Sequenced Distance Vector)

Le protocole de routage DSDV [22] est basé sur l'idée classique de l'algorithme distribué de Bellman-Ford en ajoutant quelques améliorations. Dans ce protocole, chaque nœud maintient une table de routage contenant :

- Toutes les destinations possibles.
- Le nombre de sauts nécessaire pour atteindre la destination.
- Le numéro de séquence qui est utilisé pour faire la distinction entre les anciennes et les nouvelles routes ; ce qui évite les boucles dans le routage.

En effet, chaque nœud du réseau envoie sa table de routage d'une façon périodique à ses voisins directs s'il y a des mises à jour significatives par rapport au dernier contenu envoyé. La mise à jour dépend de deux paramètres : le temps, c'est à dire la période de transmission, et les événements (apparition d'un nœud, détection d'un nouveau voisin, etc.).

Quand un nœud reçoit un paquet de mise à jour, il le compare avec les informations existantes dans sa table de routage. Toute entrée dans la table est mise à jour si l'information reçue est plus récente (ayant un numéro de séquence plus grand), ou si elle est une distance plus courte [26].

2.3.2.2 Protocoles multicast/géocast

Le routage géocast est habituellement un type spécial du routage multicast basé sur la localisation géographique. Cette technique de routage consiste à transmettre des paquets à l'ensemble des nœuds situés dans une zone géographique donnée. Cette zone est appelée zone de pertinence (ZOR, Zone Of Relevance). Par conséquent, un nœud doit juste rentrer dans cette zone pour pouvoir recevoir les paquets ; la figure 2.5 illustre ce type de routage.

Par ailleurs, les VANETs bénéficient largement de ce type de routage car les capteurs des véhicules détectent les événements survenus. Ainsi, ces derniers peuvent les signaler immédiatement aux véhicules voisins. Or, les véhicules à l'extérieur de la zone de pertinence ne sont pas alertés pour éviter les réactions inutiles. Un exemple de protocoles de cette classe nommé IVG est décrit ci-dessous.

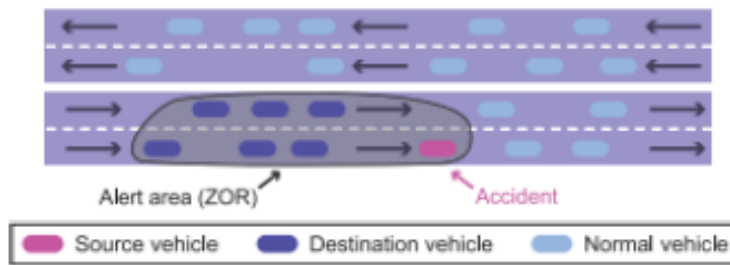


FIGURE 2.5 – Routage géocast.

☞ Protocole IVG (Inter-Vehicular Geocast)

C'est un protocole [43] qui optimise la dissémination d'information. En outre, il limite le nombre de sauts qu'un message peut effectuer en sélectionnant dynamiquement les nœuds relais pour rediffuser périodiquement les messages d'alerte. Ainsi le protocole IVG informe les véhicules situés dans une zone à risque à propos d'un danger survenu sur une autoroute. Cependant, selon leur localisation par rapport à la zone à risque, les véhicules voisins recevant ce message calculent un intervalle de différence de temps de réception d'une réponse de ses voisins à un saut. Cet intervalle permettra au voisin le plus loin d'être un relais pour la transmission tout en favorisant le plus loin. X est le voisin le plus loin de Z par rapport à Y, il permet d'atteindre W. La figure 2.6 illustre la sélection de relais dans IVG.

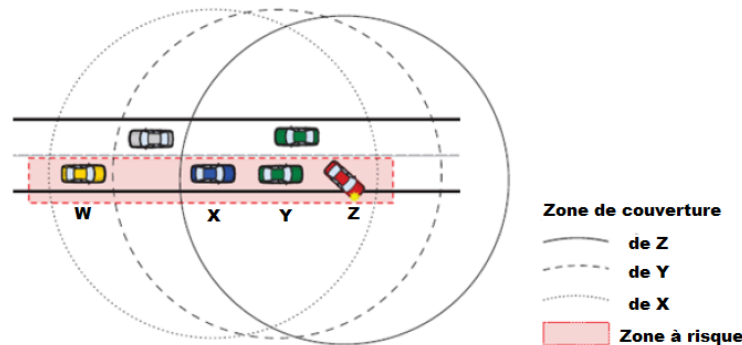


FIGURE 2.6 – Sélection de relais dans IVG.

2.3.2.3 Protocoles broadcast

☞ Dans les protocoles de routage broadcast [6], la transmission des paquets consiste à envoyer l'information à tous les nœuds disponibles qui sont à portée de communication, utilisant la méthode d'inondation. Ainsi, un message envoyé par un véhicule émetteur par diffusion est transmis à tous ses voisins directs. Par la suite, il est retransmis encore une fois par chacun de ces récepteurs et ce jusqu'à atteindre le nœud destinataire ; (voir la figure 2.7). Certes, l'inondation est efficace dans des réseaux de petite taille, mais

elle mène rapidement à une surcharge du réseau lorsque celui-ci est grand. Un exemple de protocoles de cette classe est le protocole **BROADCOMM** [44].

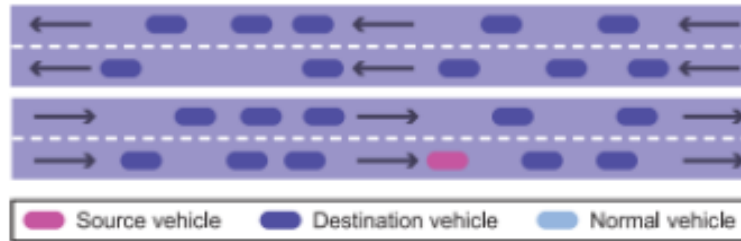


FIGURE 2.7 – Routage broadcast.

☞ Protocole BROADCOMM (BROADcast COMMunication)

Dans le protocole BROADCOMM [44], l'autoroute est divisée en cellules virtuelles qui se déplacent comme des véhicules. Tandis ce que les véhicules sont organisés en deux niveaux d'hierarchie. Le premier niveau comprend tous les nœuds d'une cellule. Alors que le deuxième niveau est représenté par des réflecteurs de cellules. Au fait, ces réflecteurs sont quelques nœuds situés à proximité du centre géographique de la cellule. Ils se comportent comme étant des têtes de cellules pendant un intervalle de temps. De plus, ils traitent les messages d'urgence provenant de même membres de la cellule ou des voisins proches.

2.3.3 Selon la structure du réseau

Les protocoles de cette famille peuvent être classés en deux principales classes : protocoles basés sur la position et protocoles basés clustering.

2.3.3.1 Protocoles basés sur la position

Les protocoles de routage basés sur la position utilisent les coordonnées géographiques du véhicule fournies par un système de géolocalisation (GPS) afin de sélectionner les prochains-sauts. Dans ce type de protocoles, chaque nœud source inclut l'identifiant et la position de la destination dans l'entête de tout paquet à envoyer. Les nœuds recevant ce paquet utilisent les informations de localisation incluses dans ce dernier et celles disponibles dans leurs tables de routage pour retransmettre le paquet. Le même mécanisme est répété jusqu'à ce que celui-ci atteigne la destination. Différents protocoles basés sur la position sont proposés dans la littérature à savoir GPSR [32], DMHMH [33], GPCR [34], CBF [35], A-STAR [36], GYTAR [37] et MURU [38].

Nous allons décrire dans ce qui suit le protocole GPSR qui est l'un des protocoles de référence de cette famille.

☞ Protocole GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)

GPSR [32] est un protocole de routage proposé pour les réseaux mobiles ad-hoc.

Ce protocole permet au nœud d'encapsuler sa position dans les paquets de données qu'il envoie. Chaque nœud transmet d'une façon périodique des messages de contrôle contenant sa position et son identifiant (son adresse IP). Ces informations permettent autres nœuds savoir sa position et sa direction, et donc construire leurs tables de position.

Au fait, un des avantages de ces messages de contrôle est que chaque nœud n'a besoin que des informations sur ses voisins directs, ce qui nécessite que peu de mémoire.

En général, l'acheminement des paquets par le protocole GPSR se fait selon deux modes suivant la densité du réseau.

- **Le mode Greedy** : dans ce mode un chemin parcourant les nœuds de la source à la destination est construit. Chaque nœud qui recevant un paquet l'achemine en faisant un saut vers le nœud intermédiaire le plus proche de la destination, et qui se trouve dans sa zone de couverture. Lorsqu'un paquet de données atteint une région où le mode Greedy échoue, le mode périmètre sera utilisé.
- **Le mode périmètre** : ce mode utilise la règle de la main droite. Lorsqu'un paquet arrive à un nœud x du nœud y , le chemin à suivre est le prochain qui se trouve dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en partant de x et par rapport au segment $[xy]$ tout en évitant les routes déjà parcourues.

2.3.3.2 Protocoles basés clustering

Dans les protocoles basés clustering, les véhicules qui sont à proximité des autres véhicules forment un groupe (cluster). Dans chaque cluster un CH (Cluster Head) est désigné comme un chef de cluster pour assurer les fonctions de gestion intra et inter-cluster. Les véhicules intra-cluster communiquent entre eux en utilisant des liens directs. Tandis que la communication entre les clusters s'effectue par le biais des CHs, (voir la figure 2.8). La formation des clusters est une solution efficace aux réseaux VANETs [26] qui sont connus par leur forte mobilité, afin de maintenir les liens entre les véhicules d'un côté, et optimiser les coûts de livraison des paquets de données lors du transport d'un autre côté.

Cependant, la sélection du CH de cluster est un défi important. De même les retards engendrés lors de la livraison des paquets de données selon sa gestion.

Beaucoup de protocoles basés clustering ont été proposés pour les VANETs. Le chapitre suivant sera axé sur ce type de protocoles où on va étudier ce mécanisme en détail. Cependant, nous présentons brièvement dans ce qui suit le protocole COIN [39], l'un des protocoles de cette classe.

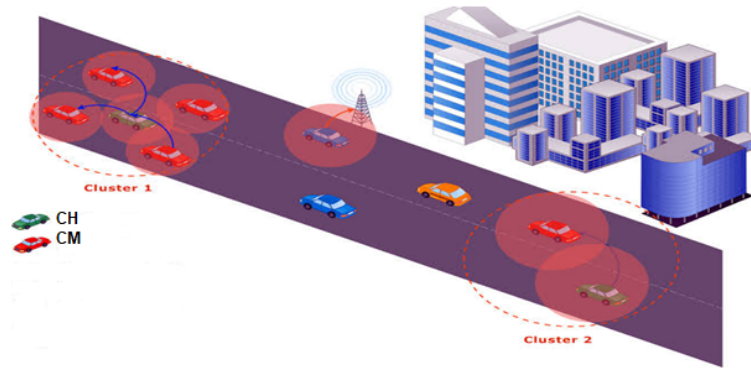


FIGURE 2.8 – VANETs basé clustering.

☞ Protocole COIN (Clustering for Open Inter vehicle communication Network)

COIN [42] est un protocole de routage assurant l'interconnexion des véhicules. Dans ce protocole, la sélection du chef de cluster se base sur la dynamique des véhicules et les intentions du conducteur. Par contre, la communication inter-véhicules répond à la nature des distances inter-véhicules. De même, la mobilité relative entre un chef de cluster et un nœud membre doit être inférieure à un seuil. Ce seuil est choisi de sorte qu'ils restent en contact aussi longtemps que possible. Malgré que COIN améliore la stabilité du cluster, en sélectionnant les véhicules qui ont un mouvement relativement similaire et de faible mobilité, ce dernier induit un coût de communication important en essayant de réaliser la stabilité des clusters.

2.4 Comparaison entre les différents protocoles étudiés

Dans le but de donner une vue globale sur le routage dans les réseaux VANETs, on trouve que l'établissement d'une table comparative entre les protocoles étudiés précédemment est nécessaire. Cette table comportera certaines métriques de performances à savoir le PDR, la latence, l'overhead et la bande passante, ainsi l'environnement et la stratégie de transfert utilisée.

Le tableau ci-dessous illustre cette comparaison.

	Sous classe	Protocole	Stratégie de transfert	L'environnement	PDR	Latence	Overhead	Bande Passante
Stratégie de routage	Proactifs	OLSR	Multi-saut	Urbain	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé
	Réactifs	AODV	Unicast, Multi-saut	Lieu libre	Faible	Elevé	Elevé	Elevé
		DSR	Unicast, Multi-saut	Urbain	Elevé	Elevé	Faible	Faible
	Hybrid	ZRP	Inondation	Urbain	Non-déterminé	Non-déterminé	Faible	Faible
Type du routage	Unicast	DSDV	Unicast, Multi-saut	Urbain	Elevé	Elevé	Elevé	Elevé
	Multicast (géocast)	IVG	Position, délai basé Greedy	Autoroute	Moyen	Elevé	Elevé	Faible
	Broadcast	BROAD-COMM	Multi-saut, Inondation	Autoroute	Elevé	Faible	Faible	-
Structure du réseau	Position	GPSR	Greedy	Autoroute	Elevé	Moyen	-	Faible
	Clustering	COIN	Multi-saut, Unicast	Autoroute	Moyen	Faible	Faible	Faible

TABLE 2.1 – Comparaison entre les protocoles du routage.

D'après ce tableau on peut tirer les remarques suivantes :

- ☞ Le mode de transmission des données le plus utilisé dans les protocoles de routage des VANETS est le multi-saut. Au fait, ce choix se justifie par le fait que ce type de routage est plus efficace en termes de gestion de ressources et adaptation à la forte mobilité des véhicules.

- ☞ La majorité des protocoles de routage examinés fonctionnent dépendamment du scénario du routage et cela selon les conditions particulières des environnements urbains ou autoroutiers.
- ☞ Beaucoup de protocoles ne considèrent pas la direction des véhicules sur la route où les paquets peuvent parfois être acheminés vers la mauvaise direction. Ceci explique les valeurs de latence élevées.
- ☞ Quelques protocoles de routage étudiés souffrent d'un haut overhead. Ce dernier est engendré par une maintenance considérable au niveau des itinéraires pour chaque véhicule sur le réseau. Par conséquent, cela induit à une large exploitation de la bande passante.

2.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un bref aperçu sur le processus de routage dans les réseaux VANETs. Plus précisément, nous avons examiné une classification de ces protocoles de routage tout en détaillant certains correspondants à chaque classe. Par la suite, nous avons comparé les protocoles examinés précédemment. Au fait, cela nous a permis de constater à quel point la conception et la mise en œuvre d'un protocole de routage performant est une tâche compliquée.

Cependant, plusieurs techniques sont utilisées afin d'améliorer ces protocoles en termes de performance. Par exemple, la technique émergente de clustering qui se présente aujourd'hui comme une solution intéressante répondants aux caractéristiques des VANETs.

Dans le prochain chapitre nous nous intéresserons à cette technique du routage et nous dresserons un panorama de protocoles de routage conçus selon ce mécanisme.

Etat de l'art et étude des protocoles de routage basés clustering dans les VANETs

3.1 Introduction

Les réseaux véhiculaires sont caractérisés par une connectivité discontinue due principalement à la forte mobilité des véhicules et leur densité irrégulière. En effet, si la densité du trafic est faible dans une zone géographique quelconque, le réseau ne sera plus connexe. Ce dernier se fragmente en groupes de véhicules isolés et déconnectés les uns des autres. Or, si sa densité est élevée comme dans une zone urbaine de circulation, ses performances diminueront forcément. Ils s'écoulent considérablement en fonction de la distance, particulièrement s'il s'étend sur plusieurs kilomètres. Cependant, pour répondre aux problèmes de performance, des nouveaux schémas dynamiques sont développés pour les VANETs, et ce en tenant compte de leurs caractéristiques. Ces schémas sont axés sur le clustering vu que les techniques traditionnelles basées sur une configuration statique sont moins efficaces.

Dans ce chapitre, nous allons présenter un aperçu général de l'approche de clustering dans les réseaux VANETs. Plus précisément, nous fournissons des connaissances de base de ce processus à savoir sa structure, sa procédure générale, ainsi que les critères de conception des protocoles basés sur ce mécanisme. Par la suite, nous proposons une nouvelle classification pour ces protocoles de routage conçus ou réadaptés aux VANETs, tout en étudiant certains protocoles correspondants à chaque classe. En outre, nous dressons une table comparative des protocoles examinés précédemment selon des paramètres sélectionnés. Enfin, nous terminons par une conclusion qui sera donnée dans la section 3.6.

3.2 Généralités sur le Clustering dans les VANETs

3.2.1 Concepts et composants de clustering

a) Définition

Le clustering [51, 20] est le processus qui vise à regrouper les véhicules (nœuds) du réseau en groupes appelés "clusters", en donnant au réseau une structure hiérarchique. Ce mécanisme est assez important car lorsque le réseau est partitionné en groupes ce dernier devient plus facile à gérer ; les messages de coordination ne sont plus échangés entre tous les nœuds mais juste au sein du groupe. Cependant, l'utilisation de la technique de clustering [52] dans les VANETs permet d'assurer certaines exigences. Par exemple, elle réduit considérablement la charge inutile du routage dans le réseau. Elle améliore la livraison des messages et ainsi offrir une utilisation propice de la bande passante.

b) Structure et composants

Trois types d'entités composent un cluster [50], et qui sont la tête de cluster, les membres et les nœuds passerelles. La tête du cluster ou chef du cluster (Cluster Head ; CH) est un nœud leader. Les membres de cluster (Cluster Member ; CM) sont des nœuds ordinaires. Les nœuds passerelles (Gateway node ; GW) assurent la communication entre les clusters. Ces entités sont illustrées dans la figure 3.1 et seront définies dans la suite de ce paragraphe.

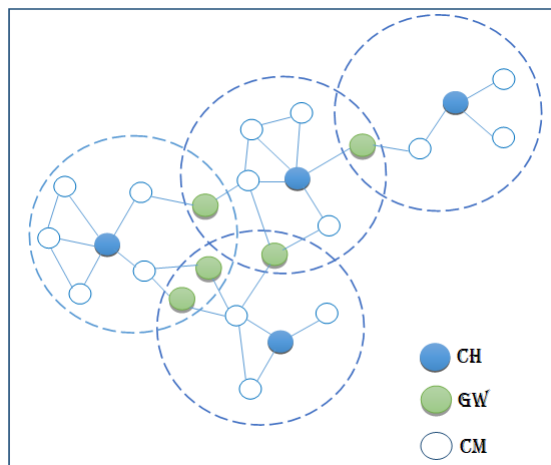


FIGURE 3.1 – Exemple de composants structurant un cluster.

- 1) **Chef de cluster (CH) :** Chaque cluster possède un nœud spécifique élu en tant que tête de cluster. Ce nœud peut être sélectionné en fonction d'une métrique spécifique ou d'une combinaison de métriques. Certains paramètres peuvent inclure l'emplacement géographique, la densité, le degré, la mobilité d'un nœud, etc. Le CH joue le rôle d'un coordinateur au sein de sa sous-structure ; relayer les informations entre les nœuds dans le même cluster (communications intra-cluster). Comme il assure aussi la gestion des communications avec d'autres clusters (communications inter-cluster).

- 2) **Membres de cluster (CM)** : les CMs sont des nœuds ordinaires qui rejoignent un cluster en fonction de ses propriétés. Ils sont responsables d'émettre leurs données au CH dans des intervalles de temps particuliers. Par ailleurs, les CMs d'un cluster ne sont pas susceptibles d'interagir et communiquer directement avec d'autres CMs ou CHs de d'autres clusters.
- 3) **Nœuds passerelles (GW)** : Ce sont des nœuds partagés entre deux clusters, assurant le rôle d'un relais afin de transférer les données entre eux. Généralement, ils sont positionnés aux extrémités du cluster. La sélection des GW est une tâche importante du CH vu qu'ils doivent avoir une mobilité très faible.

3.2.2 Procédure générale d'un protocole basé clustering

Une série de procédures ou phases basiques est impliquée afin de concevoir un protocole de routage basé clustering aux VANETs. Un nœud adhérant ou cherche à adhérer un cluster doit passer par quelques/toutes les phases [53, 54] comme montré dans la figure 3.2. Ces phases sont : la phase de la découverte du voisinage, sélection du chef de cluster, l'annonce, l'affiliation, et enfin la phase de maintenance.

3.2.2.1 Découverte de voisinage

La première phase du processus de clustering est la découverte des nœuds voisins. Initialement, lorsqu'un véhicule joint la route et décide de participer à un réseau véhiculaire, son système de communication s'active. Cependant, pour annoncer son existence, chaque véhicule diffuse d'une façon périodique un message HELLO à ses voisins, tout en recevant des messages similaires de nœuds à proximité. Ces messages incluent un certain nombre d'informations, telles que l'identifiant, la position, la vitesse et la plage de transmission. Toutes les informations rassemblées sont échangées entre les nœuds (véhicules) qui sont stockées dans des tables de routage afin de les utiliser par des protocoles de clustering par la suite. À la fin de cette étape, le nœud passera à la phase de sélection du chef de cluster.

3.2.2.2 Sélection du chef de cluster

Après avoir collecté les informations partagées entre les véhicules voisins. Chaque véhicule examine les informations obtenues pour trouver le nœud compétent et le plus approprié qui mérite de devenir un nœud leader (CH). Au fait, les règles de choix du CH varient selon certaines métriques déterminées. Lorsqu'un nœud se déclare candidat pour présider un cluster, il peut être élu par ses nœuds voisins ou s'auto-élire, en mettant à jour son état à CH. Une fois que ce dernier est élu car il est le mieux adapté pour être le responsable, il passe à la phase d'annonce.

3.2.2.3 Annonce

Dans cette étape, chaque nouveau CH commence à diffuser un message d'invitation (annonce) pour que tous les nœuds à proximité se joignent et participent au processus de formation et d'affiliation au cluster. Lorsque ce nœud accumule tous les membres de son cluster, il procède à l'étape de maintenance.

3.2.2.4 Affiliation

Lorsqu'un nœud reçoit le message d'annonce d'un nouveau CH, il le compare avec celui du CH élu à l'étape précédente. Par la suite, il envoie un accusé de réception positif ou négatif de la demande d'affiliation. Aussi, il met à jour son état en CM, et rejoint donc le cluster choisi. Au fait, ce nœud soit il traite le message d'annonce, ou bien il l'ignore et attend un autre message en passant directement à l'étape de maintenance pour rejoindre un cluster approprié.

3.2.2.5 Maintenance

Cette phase se constitue de deux étapes distinctes selon le rôle du nœud ; CH ou un CM.

- a) **En tant que CH** : afin d'assurer le rôle du nœud leader, chaque CH évalue l'état de son cluster en interrogeant ses CMs par des messages périodiquement échangés afin d'enregistrer la présence des membres dans le cluster. Ainsi, quand un nœud CM sort de la portée de son cluster, le CH détecte cet événement et élimine immédiatement ce nœud de sa liste de membres. Si un CH perd tous ses membres, le cluster n'existera plus et ce nœud revient à la première phase. De plus, lorsqu'un CH reçoit une demande d'un nœud ordinaire de joindre son cluster, il doit examiner sa demande. S'il est apte, le CH l'ajoute à sa liste de membres, puis il l'informe par message. Entre autres, un cluster peut fusionner avec un autre cluster voisin lorsqu'ils ont un grand taux de chevauchement. Dans ce cas, le CH du plus petit cluster peut devenir un CM du plus grand cluster.
- b) **En tant que CM** : un nœud ordinaire examinera le lien de communication vers son CH d'une façon périodique ; soit en attendant le message d'un CH, ou bien en envoyant activement des messages «vivants ». Si la liaison du nœud à son CH échoue, il doit changer son état en non-cluster et essayer de rejoindre un autre cluster. Dans le cas où le nœud reçoit une requête d'affiliation d'un nœud non appartenant à aucun cluster, il peut se retirer de son cluster, pour devenir un CH et continuer la phase de maintenance.

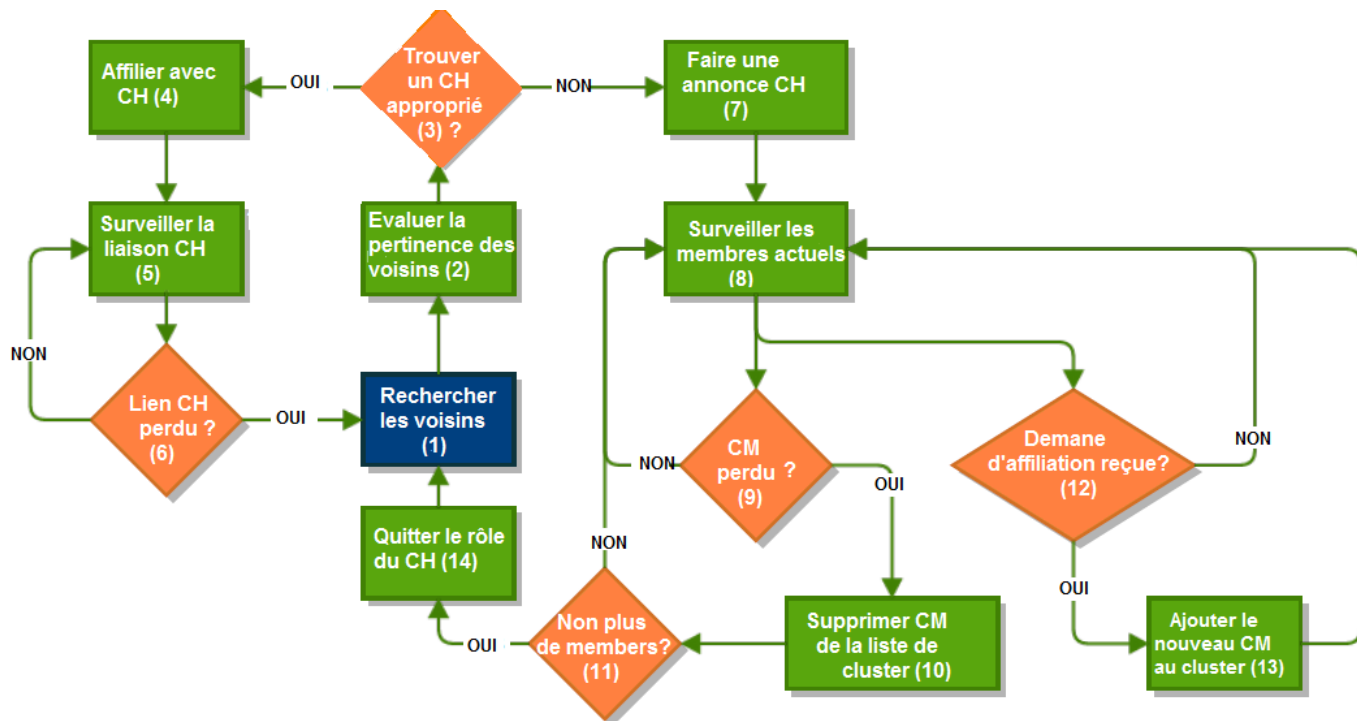


FIGURE 3.2 – Procédure générale d'un protocole basé clustering.

3.2.3 Critères de conception d'un protocole basé clustering

Pour choisir le protocole de routage le mieux répondant aux besoins des différentes applications, les performances de ce protocole doivent être évaluées. Cela peut être selon une liste de critères entre lesquelles on doit toujours faire un compromis en privilégiant quelques uns au détriment des autres. Ainsi, la conception des protocoles basé clustering est guidée par plusieurs facteurs et contraintes conceptuelles [20] à savoir :

- **Equilibrage de charge (load balancing)** : désigne le processus de répartition d'un ensemble de tâches exhaustives dans le réseau sur un ensemble de nœuds afin d'éviter les points de congestion. Cela permet d'optimiser la charge totale du réseau d'une manière significative.
- **Passage à l'échelle** : désigne la capacité du réseau à s'adapter à l'extension du réseau en termes de nombre élevé de nœuds, ou zone d'intérêt plus grande sans affecter les performances du réseau.
- **Structure stable** : former des structures (clusters) plus stables dans un environnement très dynamique parce que les clusters sont formés en tenant compte de certaines métriques liées aux nœuds tels que la vitesse, la position, la mobilité, etc.
- **Exploitation optimale de la bande passante** : une exploitation efficace de la bande passante évite l'échange inutile des messages dans le réseau. Cela permet de diminuer le taux de collisions. Par exemple, lors du processus de clustering, les membres n'agissent qu'avec leurs CHs.

- **Qualité de service (QoS)** : la forte mobilité des nœuds dans le réseau peut provoquer des déconnexions fréquentes dans les liens de communication. Ceci peut engendrer un arrêt temporaire du service fourni par le réseau. Il est donc nécessaire de garantir et de fournir une qualité de service élevée, même en présence de rupture dans les liens de communication afin d'assurer le service requis.
- **Tolérance des pannes** : c'est un critère essentiel des systèmes répartis qui assurent la fiabilité et la maintenance. Dans ce type de systèmes, les nœuds et les liaisons de communication peuvent échouer à tout moment, de sorte que la récupération des pannes peut être effectuée par des mécanismes de contrôle ou de redondance.

3.3 Classification des protocoles de routage basés Clustering dans les réseaux VANETs

Afin d'assurer une communication efficace au sein des réseaux véhiculaires, de nombreuses recherches ont fourni des techniques différentes pour créer une hiérarchisation du réseau. Certaines de ces techniques consistent à utiliser : la position du nœud par rapport à son CH, la densité, la mobilité, la destination du nœud, etc. Nous avons proposé une nouvelle classification aux protocoles de clustering proposés ou réadaptés aux réseaux VANETs (voir figure 3.3) selon leur paradigme de fonctionnement et selon les paramètres de prises de décision. Nous détaillerons dans la suite de ce paragraphe chacune de ces catégories.

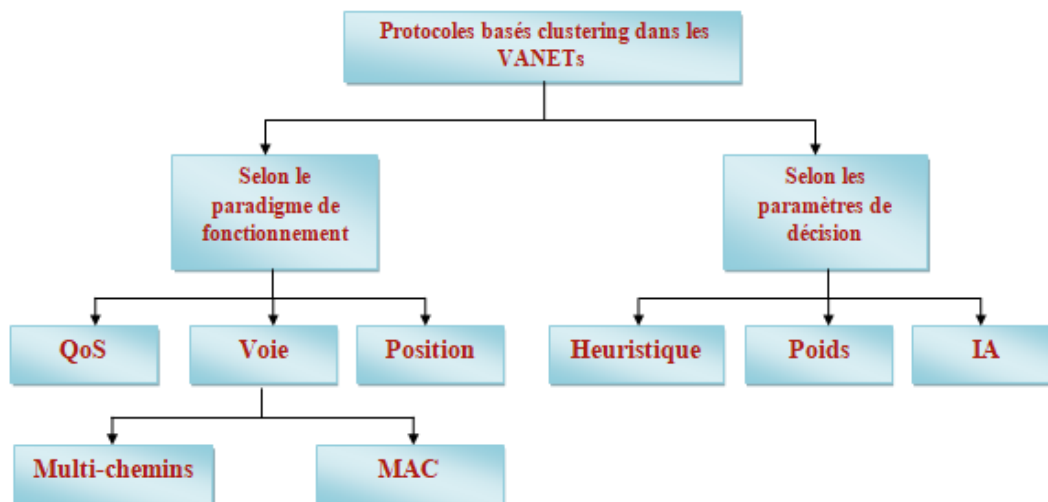


FIGURE 3.3 – Classification des protocoles de routage basés clustering dans les VANETs.

3.3.1 Selon le paradigme de fonctionnement

Les protocoles de routage hiérarchiques peuvent être classés selon leur mode opérationnel en trois catégories principales : protocoles basés sur la qualité de service, protocoles basés sur la position et protocoles basés sur la voie. Il est à noter que certains protocoles de clustering proposés dans la littérature peuvent appartenir à une ou plusieurs catégories.

3.3.1.1 Protocoles basés sur la qualité de service (QoS)

Dans cette classe de protocoles, la notion de QoS a été introduite dans le processus de clustering. En fait, les protocoles de cette famille visent à satisfaire certains paramètres de qualité de service lors de la formation des clusters comme les délais de transmission, la largeur de bande, la qualité des données, la stabilité des clusters, etc. Entre autres, minimiser la mobilité relative ainsi que la distance de chaque CH à ses membres améliore la convergence et la dynamique des clusters. Cependant, la densité et la vitesse des véhicules affectent leur mobilité et doivent être prises en considération.

3.3.1.2 Protocoles basés position

Dans le clustering basé position [58], la structure du cluster repose principalement sur les valeurs de localisation géographique des véhicules et de leur variation spatiales et comportements. Ainsi, les positions courantes, les futures positions des véhicules et leur destination contribuent dans la formation des clusters. Généralement, un système de navigation peut être utilisé dans le processus de clustering afin de connaître la destination. Cependant, pour garder le processus de clustering stable, la fréquence des changements du cluster doit être minimisée. Par ailleurs, l'exploitation du comportement des véhicules en prenant en compte les positions et les destinations finales des véhicules améliore la stabilité du cluster et aussi 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 est généralement faible en raison de la similitude de ses destinations. Toutefois, si le nombre de véhicules dans un cluster devient grand, la diffusion des messages dans ce cas entraînera des frais généraux élevés de transmission.

3.3.1.3 Protocoles basés sur la voie

Dans ce type de protocoles, la formation de clusters dépend de certains paramètres de disponibilité des informations de la voie [55, 56]. Ces informations sont utilisées dans la sélection des clusters et des chemins efficaces vers la destination. Deux catégories de protocoles de cette famille peuvent être distinguées : les protocoles multi-chemins et les protocoles basés MAC.