

N° d'ordre :

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Sciences et de la Technologie
Houari Boumediene

Faculté d'Electronique et d'Informatique
Département d'Informatique



MÉMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de **MAGISTER**
En Informatique
Option: Informatique Mobile

Par : **BENKOUIDER Sarah**

THÈME

ÉTUDE DU PROBLÈME DE LOCALISATION DANS LES RÉSEAUX VANET

Soutenu le 22/12/2009, devant le jury composé de :

Mr- N. BADACHE,	Pr,	C.E.R.I.S.T,	Président
Mr- M. B. YAGOUBI,	Mc,	Université de Laghouat,	Rapporteur
Mr- N. LAGRAA,	Mc,	Université de Laghouat,	Co-Rapporteur
Mme- S. MOUSSAOUI,	Mc,	U.S.T.H.B,	Examinatrice
Mr- Y. DJOUADI,	Mc,	Université de Tizi-Ouzou,	Examineur

Je dédie ce travail à tous ceux qui me sont chers...

Ma mère;

Mon père;

Mes soeurs et mes frères;

Toutes mes amies.

Sarah.....

Remerciement

Je tiens à remercier mon Dieu, le tout puissant, de m'avoir donné la santé, le courage et la patience jusqu'à l'achèvement de ce travail.

Je remercie énormément mes très chers parents, pour leur amour, leurs encouragements et leur assistance morale qui m'ont permis de réaliser ce travail dans de bonnes conditions.

J'exprime ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements à mon directeur de thèse Dr. Mohamed YAGOUBI, Maître de Conférence à l'Université de Laghouat, pour m'avoir fait confiance, encore une fois. Je le remercie également pour sa disponibilité, son aide, ses conseils précieux et ses critiques constructives qui m'ont aidé à accomplir ce travail.

J'adresse également mes sincères remerciements à mon Co-Promoteur, Dr. Nasreddine LAGRAA, Maître de Conférence à l'Université de Laghouat, pour ses explications et suggestions pertinentes qui m'ont permis de bien comprendre les différentes facettes de ce sujet et de bien analyser le problème posé.

Je tiens aussi à remercier vivement les membres du Jury : Prof. N. BADACHE, Dr. S. MOUSSAOUI et Dr. Y. DJOUADI, d'avoir accepté de juger ce travail.

Résumé

Les réseaux *VANet* (Vehicular Ad hoc Networks) sont devenus ces dernières années l'un des domaines de recherche les plus attractifs dans le monde des réseaux sans fils. Ils sont constitués de véhicules capables de s'échanger des informations par voie radio dans le but d'améliorer la sécurité routière ou d'offrir de nouveaux services à bord de la route (accès à Internet, jeux distribués, ...etc.).

Quand un accident se produit, des messages d'alerte doivent être envoyés à tous les véhicules pour signaler qu'un véhicule est en danger et localiser les véhicules dans le voisinage. Cependant, tous les véhicules ne sont pas équipés d'un GPS ou les informations fournies par les satellites sont masquées (en parking, forêt, tunnel, etc.), il est donc nécessaire de déterminer la localisation de ceux-ci.

Dans ce mémoire, nous nous intéressons particulièrement à proposer et à implémenter un nouveau protocole de localisation des nœuds de véhicules et à étudier son impact sur les performances du réseau, en utilisant le simulateur NS-2 et le modèle de mobilité Freeway.

Mots clés : VANet, Localisation, Trilatération, Freeway model, NS-2.

Abstract

VANet networks (Vehicular Ad hoc Networks) became these last years one of the most attractive domains of research in the world of mobile networks. They are constituted by vehicles capable of being exchanged information by way radio with the aim of improving the road safety or offering new services aboard the road (access Internet, distributed games, etc.).

When an accident occurs, warning messages must be sent to all the vehicles in the range to announce that a vehicle is in danger and to localize vehicles in the neighbourhood. However, all the vehicles are not equipped with a GPS or the information supplied by satellites are masked (in parking, forest, tunnel, etc.), it is thus necessary to determine the localization of these.

In this work, we are particularly interested to propose and to implement a new protocol of localization of the nodes of vehicles and to study its impact on the performances of the network, by using the simulator NS-2 and the model of Freeway mobility.

Keywords: VANet, Localization, Trilateration, Freeway model, NS-2.

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	1
<i>Chapitre 1: Les réseaux Ad hoc de véhicules (VANet)</i>	3
1. Introduction :	4
2. Les environnements mobiles :	5
2.1. Le réseau mobile avec infrastructure :	5
2.2. Le réseau mobile sans infrastructure :	6
3. Les réseaux mobiles Ad Hoc :	6
3.1. Les applications des réseaux mobiles Ad hoc :	7
3.2. Les caractéristiques des réseaux Ad hoc :	7
4. Les réseaux Ad hoc de véhicules :	8
4.1. Types de communications :	9
4.1.1. Communications de Véhicule à Véhicule :	9
4.1.2. Communications de Véhicule à Infrastructure :	9
4.1.3. Communications hybrides :	10
4.2. Applications des réseaux de véhicules :	10
4.2.1. Applications de sécurité routière :	10
4.2.2. Applications de confort :	12
4.3. Spécificités des réseaux de véhicules :	14
5. Conclusion :	15
<i>Chapitre 2: Le problème de localisation dans les réseaux VANet</i>	16
1. Introduction:	17
2. Applications VANet exigeant la localisation des véhicules:	18
2.1 Applications capables de travailler avec localisation imprécise :	18
2.2. Applications exigeant la localisation précise :	19
2.3. Applications exigeant la localisation avec haute précision :	21
3. Techniques de localisation pour les réseaux Ad hoc de Véhicules :	22
3.1. Système de positionnement mondial (ou Global Positioning System GPS):	22
3.2. Map matching :	23
3.3. Dead Reckoning :	24
3.4. Localisation cellulaire :	24
3.5. Traitement d'image/vidéo:	25
3.6. Localisation relative distribuée:	26

4. conclusion :	27
Chapitre 3: Les protocoles de localisation relative	28
1. Introduction :	29
2. La localisation des nœuds dans les réseaux ad hoc (MANet):	30
2.1. L'établissement des systèmes de coordonnées locales:	30
2.2. L'établissement du système de coordonnées globales :	33
2.2.1. La direction dans un système de coordonnées globales:	33
2.2.2. Le calcul des positions :	34
3. La localisation des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil (WSN) :	35
3.1. L'établissement des systèmes de coordonnées locales:	35
3.2. Etablissement du système de coordonnées globales :	36
3.3. La translation des coordonnées et le calcul de position :	37
4. La localisation des nœuds dans les réseaux ad hoc de véhicules (VANet):	39
4.1. Protocole 1:	39
4.1.1. Principe :	40
4.2. Protocole 2:	43
4.2.1. La Clusterisation :	43
4.2.2. Le calcul des distances:	43
4.2.3. Le calcul des positions:	43
4.3. Protocole 3:	45
4.3.1. Principe :	45
5. Conclusion :	46
Chapitre 4: Notre approche de localisation	48
1. Introduction :	49
2. Principe :	50
2.1. Sélection du premier clusterhead:	50
2.2. Sélection des autres clusterhead (successeurs et prédécesseurs):	53
2.3. Maintenance:	55
3. Étude comparative et synthèse :	55
4. Conclusion :	58
Chapitre 5: Simulation et analyses	59
1. Introduction :	60
2. Network Simulator 2 :	61
2.1. Introduction :	61

2.2. Définition :	61
2.3. Éléments de la simulation :	62
3. Générateur des modèles de mobilité : IMPORTANT	63
4. Modèle de mobilité utilisé (Freeway):	63
4.1. Les étapes de création d'un fichier de mobilité :	64
5. Métriques d'évaluations :	64
5.1. Erreur moyenne en mètre (EM):	64
5.2. Taux des noeuds localisés (TNL):	65
5.3. Nombre de messages envoyés (NME) :	65
6. Paramètres de simulation :	65
7. Résultats et analyses :	66
7.1. Taux des noeuds localisés (TNL):	66
7.2. Erreur moyenne en mètre (EM):	67
7.3. Nombre de messages envoyés (NME) :	68
8. Conclusion :	70
Conclusion générale	71
Bibliographie	73
Annexe	78

Table des figures :

Figure 1 : Réseau mobile avec infrastructure.....	5
Figure 2 : Réseau mobile sans infrastructure.	6
Figure 3 : Types de communication dans un réseau de véhicules.	9
Figure 4 : Véhicule en panne.....	11
Figure 5 : Travaux sur les routes.....	11
Figure 6 : Risque de collision.....	12
Figure 7 : Accès à Internet.	13
Figure 8 : Parking intelligent.....	13
Figure 9 : Applications VANet exigeant la localisation des véhicules.....	18
Figure 10 : Techniques de localisation appliquées dans VANet.....	22
Figure 11 : Le système de coordonnées locales du noeud « i ».	31
Figure 12 : Les deux situations de correction du système de coordonnées du noeud « k ».....	34
Figure 13 : Estimation de la distance d_{ik} par triangulation.	37
Figure 14 : Les angles des noeuds « j », « k » et « l » dans le système du noeud « i » et les angles des noeuds « j » et « i » dans le système du noeud « k »	38
Figure 15 : Les cas spéciaux de la formation du quadrilatère.....	38
Figure 16 : Localisation en utilisant trois véhicules équipés de GPS.	40
Figure 17 : Localisation d'un véhicule se déplaçant d'une position avec trois voisins équipés de GPS à une position avec deux voisins.....	41
Figure 18 : Les deux valeurs possibles de « Sc » sont dans la même direction.....	42
Figure 19 : Position exacte dans la situation 2-2.....	42
Figure 20 : Le calcul des positions relatives dans un groupe.....	44
Figure 21 : Le calcul des positions des véhicules voisins du véhicule « M ».	52
Figure 22 : La sélection des véhicules maîtres (CHs).....	54
Figure 23 : Taux des noeuds localisés en fonction du nombre de noeuds	66
Figure 24 : Erreur moyenne en fonction du nombre de noeuds	67
Figure 25 : Nombre de messages envoyés en fonction du nombre de noeuds.....	68
Figure 26 : Taux des noeuds localisés en fonction de la vitesse.....	69
Figure 27 : Erreur moyenne en fonction de la vitesse.....	69
Figure 28 : Format du fichier MAP.....	79
Figure 29 : Exemple d'un fichier MAP.....	80
Figure 30: Exemple d'un fichier de mobilité.	81

Introduction

générale

Le développement technologique qu'a vu le monde d'aujourd'hui a touché tous les domaines, particulièrement le secteur de la communication qui connaît une évolution considérable par l'apparition de la technologie sans fil.

La technologie sans fil permet l'établissement d'une communication sans fil dans des environnements mobiles qui offrent une grande flexibilité d'emploi. En particulier, ils permettent la mise en réseau des sites dont le câblage serait trop onéreux à réaliser, voire même impossible. Les réseaux mobiles sans fil, peuvent être classés en deux classes (les réseaux avec infrastructure ou cellulaire et les réseaux sans infrastructure).

La contrepartie des réseaux cellulaires est les réseaux mobiles Ad hoc. Un réseau Ad hoc peut être défini comme une collection d'entités mobiles interconnectées par une technologie sans fil formant un réseau temporaire sans l'aide de toute administration centralisée ou de tout support fixe.

Les réseaux ad hoc de véhicules (ou VANet) sont perçus par ailleurs comme un bon exemple d'application du concept des réseaux ad hoc. Ils permettent à des véhicules de communiquer entre eux et échanger des informations dont l'objectif est d'améliorer la sécurité sur les routes ou encore les services proposées aux conducteurs. Le principe de base consiste ici en l'échange d'informations entre différents véhicules proches afin par exemple d'avertir le conducteur de la présence d'un accident ou d'un obstacle sur la chaussée quelques centaines de mètres plus loin. Les véhicules peuvent ainsi obtenir des informations très variées grâce à leur voisin.

Ce travail est consacré à l'étude du problème de localisation des nœuds véhicules dans les réseaux VANet. Nous proposons un protocole de localisation efficace et qu'il peut être utiliser dans des environnements où il n'y a pas l'accès direct aux satellites GPS (par exemple : tunnel, forêt,... etc.). Les performances de ce protocole sont évaluées par des simulations réalisées avec le simulateur Network Simulator 2 (NS-2).

Ce mémoire est composé de cinq chapitres : le premier chapitre est consacré aux généralités sur les réseaux mobiles et particulièrement les réseaux VANet. Le second montre la nécessité de localisation au un certain nombre d'applications VANet. Le troisième chapitre est une collection de protocoles et de techniques proposées en littérature concernant la localisation des nœuds mobiles. Le quatrième chapitre contient la description de la technique que nous avons proposée. Enfin, le dernier chapitre présente l'analyse des résultats des simulations effectuées.

Chapitre 1

Les réseaux Ad hoc de véhicules (VANet)

1. Introduction :

Les réseaux ad hoc de véhicules (VANet) constituent un domaine de recherche récent, qui intéresse de plus en plus la communauté scientifique, les constructeurs automobiles et les opérateurs des télécommunications [KJC08].

Ce type de réseau est constitué de véhicules capables de s'échanger des informations par voie radio dans le but d'améliorer la sécurité routière ou de permettre l'accès à Internet pour les passagers [KBV08].

Les réseaux VANet peuvent être utilisés pour mettre en place plusieurs types d'applications. Ces applications sont connues sous le nom de systèmes de transport intelligents (ITS). Ces applications sont classées en deux catégories : (i) applications orientées véhicules afin d'améliorer la sécurité routière (alertes accidents, prévention des carambolages, conduite assistée *etc.*), (ii) applications orientées passagers pour offrir de nouveaux services à bord de la voiture (accès Internet, jeux distribués, messagerie instantanée, informations touristiques *etc.*) [KJC08].

Les applications ITS peuvent être mises en place grâce aux infrastructures installées au bord de la route ou grâce aux nouveaux systèmes installés dans le véhicule (systèmes embarqués). Ce type de fonctionnement confère aux applications ITS deux types de déploiements : véhicule vers véhicule (V2V) ou véhicule vers infrastructure (V2I) [KJC08].

Ce chapitre a pour but de présenter les notions de base de réseau ad hoc de véhicules ; son principe ; les types de communication dans ce type de réseau ; ses principales applications et leurs propriétés.

2. Les environnements mobiles :

Un environnement mobile est un système composé de sites mobiles qui permet à ses utilisateurs d'accéder à l'information indépendamment de leurs positions géographiques. Les réseaux mobiles ou sans fil, peuvent être classés en deux classes : les réseaux avec infrastructure et les réseaux sans infrastructure [LBA00].

2.1. Le réseau mobile avec infrastructure :

Dans ce mode, le réseau est composé de deux ensembles d'entités distinctes (cf. Figure 1): les sites fixes, appelés stations de base (SB), interconnectées via un réseau de communication filaire, et les sites mobiles ou unités mobiles (UM).

A chaque station de base correspond une cellule à partir de laquelle des unités mobiles peuvent émettre et recevoir des messages via le point d'accès. Alors que les sites fixes sont interconnectés entre eux à travers un réseau de communication filaire, généralement fiable et d'un débit élevé. Les liaisons sans fil ont une bande passante limitée qui réduit sévèrement le volume des informations échangées [LBA00, DBA03].

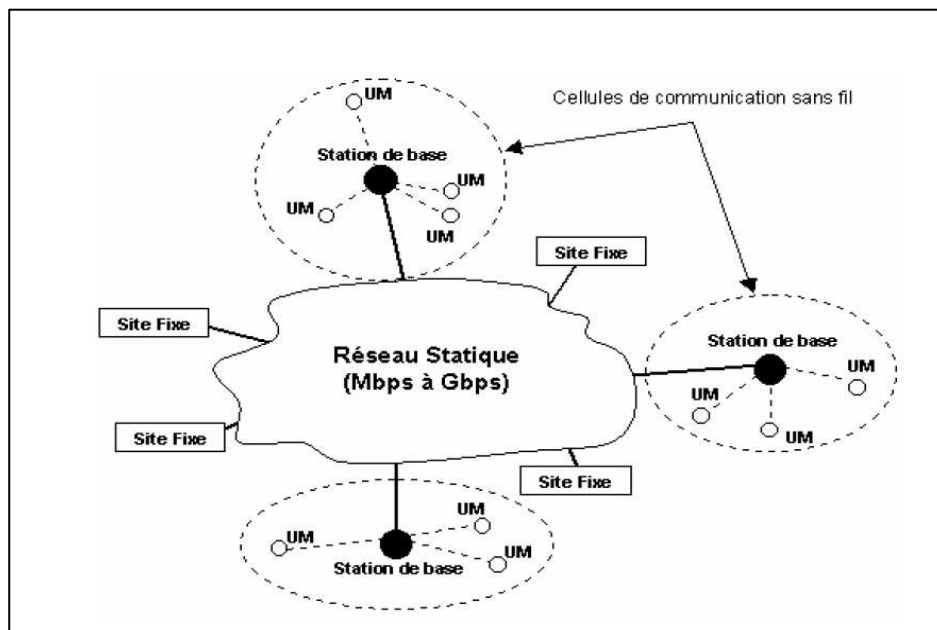


Figure 1 : Réseau mobile avec infrastructure.

2.2. Le réseau mobile sans infrastructure :

Le modèle de réseau sans infrastructure préexistante ne comporte pas l'entité « site fixe », tous les sites du réseau sont mobiles et communiquent d'une manière directe en utilisant leurs interfaces de communication sans fil (cf. Figure 2). L'absence de l'infrastructure ou du réseau filaire composé des points d'accès, oblige les unités mobiles à se comporter comme des routeurs qui participent à la découverte et la maintenance des chemins pour les autres hôtes du réseau. Les unités mobiles sont aussi obligées de gérer l'accès au canal, et d'assurer toutes les fonctions du réseau.

La topologie du réseau peut changer à tout moment. Elle est donc dynamique et imprévisible ce qui fait que la déconnexion des unités est très fréquente [LBA00, DBA03].

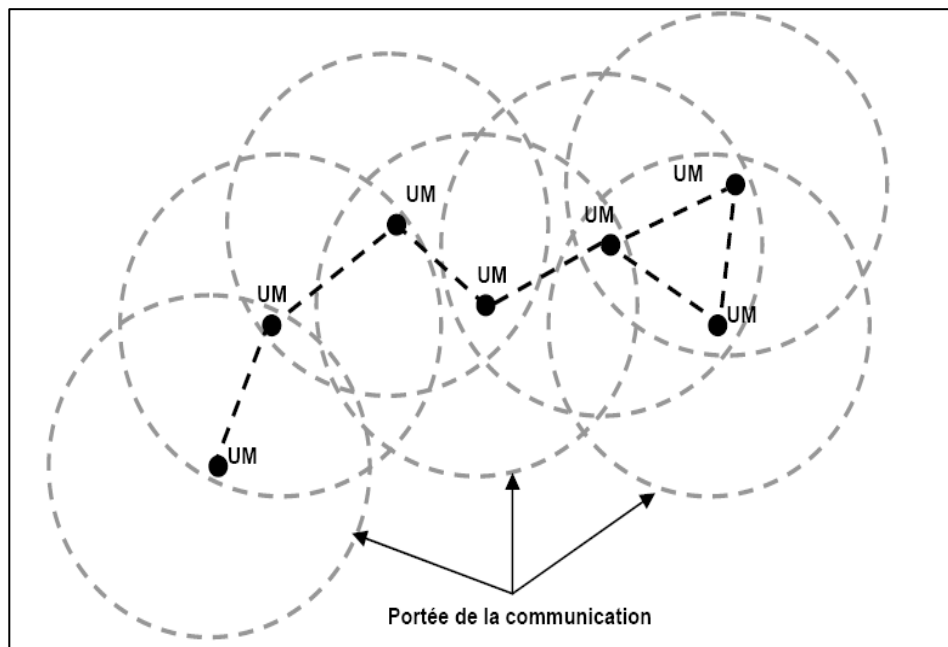


Figure 2 : Réseau mobile sans infrastructure.

3. Les réseaux mobiles Ad Hoc :

Un réseau mobile ad hoc, appelé aussi **MANET** (Mobile ad hoc network), consiste en une grande population, relativement dense, d'unités mobiles qui se déplacent dans un territoire quelconque et dont le seul moyen de communication est l'utilisation des interfaces sans fil, sans l'aide d'une infrastructure préexistante ou administration centralisée. En mode ad hoc, les stations sans fils clientes se connectent les unes aux autres afin de constituer un réseau point à point, c'est à dire un réseau dans lequel chaque machine joue en même temps le rôle de client et le rôle de point d'accès.

Dans un réseau Ad hoc, la portée de l'ensemble formé par les différentes stations est déterminée par la portée de chaque station. Cela signifie que si deux des stations du réseau sont hors de portée l'une de l'autre, elles ne pourront pas communiquer directement. Pour cela, elles doivent utiliser d'autres stations comme relais [LBA00].

3.1. Les applications des réseaux mobiles Ad hoc :

Les réseaux ad hoc sont utilisés dans toute application où le déploiement d'une infrastructure réseau filaire est trop contraignant, soit parce que c'est difficile à mettre en place, soit parce que la durée d'installation du réseau ne justifie pas de câblage à demeure. Parmi ces applications, on trouve [ERC99, MFP00]:

- *Applications militaires* : On peut bénéficier des avantages des réseaux ad hoc dans les applications militaires, car ces réseaux leur permettent de se déplacer et de communiquer entre eux dans les champs de bataille.
- *Contrôle d'environnement* : Des détecteurs (capteurs) peuvent être utilisés dans une région déterminée. Afin de collecter un ensemble d'information et de l'envoyer à travers un réseau ad hoc à une station qui traite ces informations. On peut avec cette méthode, par exemple, prévoir la pollution de l'eau.
- *Opérations de secours* : Les opérations de secours nécessitent toujours l'échange d'information, et si par exemple le sauvetage se déroule dans une zone où l'infrastructure de base pour la mise en place d'un réseau est endommagée ou n'existe pas, dans ce cas, une installation d'un réseau ad hoc peut résoudre le problème.
- *Utilisation privée* : Les réseaux ad hoc peuvent être utilisés dans les Home Networks où les différents équipements échangent des informations (son, vidéo, alarme). Une des applications qui est dans ce contexte est: un réseau de robots dans une maison qui font plusieurs travaux (nettoyage, assurance de la sécurité).
- *Les conférences* : Le réseau ad hoc est faisable pour un groupe de gens qui veulent créer un réseau temporaire. Par exemple, un réseau ad hoc qui relie les différentes unités portables peut être utilisé pour diffuser et partager les informations entre les participants dans une conférence.

3.2. Les caractéristiques des réseaux Ad hoc :

Les réseaux mobiles ad hoc sont caractérisés par ce qui suit [LBA00, DBA03]:

- *L'absence d'infrastructure* : Les réseaux ad hoc se distinguent des autres réseaux mobiles par la propriété d'absence d'infrastructure préexistante et de tout genre d'administration centralisée. Les hôtes mobiles sont responsables d'établir et de maintenir la connectivité du réseau d'une manière continue.
- *Une topologie dynamique* : 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.
- *Une bande passante limitée* : Une des caractéristiques primordiales des réseaux basés sur la communication sans fil est l'utilisation d'un médium de communication partagé. Ce qui limite la bande passante réservée à un hôte.
- *Des contraintes d'énergie* : Les hôtes 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 ou fonction assurée par le système.
- *Une sécurité physique limitée* : Les réseaux mobiles ad hoc sont plus touchés par le paramètre de sécurité que les réseaux filaires, cela se justifie par les contraintes et les limitations physiques tel que l'absence d'infrastructure et la nature de voies de communication qui réduisent le contrôle des données transférées.

4. Les réseaux Ad hoc de véhicules :

Les réseaux Ad hoc de véhicules (**VANet** ou Vehicular Ad hoc Networks) constituent un nouveau type de réseaux issu des réseaux ad hoc (MANET). Leur particularité provient des communications qui peuvent s'instaurer entre véhicules ou bien avec une infrastructure de stations de base. Par rapport à un réseau ad hoc classique, le VANET se caractérise par une forte mobilité des noeuds rendant la topologie du réseau fortement dynamique.

Ces réseaux sont constitués d'un ensemble d'objets mobiles qui communiquent entre eux à l'aide de réseaux sans fil de type IEEE 802.11, Bluetooth, ou Ultra Wide Band (UWB). Avec de tels mécanismes de communication, un véhicule peut recevoir des informations de ses voisins proches ou d'autres plus distants, grâce aux techniques de multi sauts qui exploitent dans ce cas des noeuds intermédiaires comme relais.

De nombreuses informations peuvent être échangées dans le contexte des VANet, notamment pour alerter les conducteurs lorsqu'un événement survient (accident, freinage d'urgence, véhicule quittant une place de stationnement et souhaitant en informer les autres, etc.) [DDZ08].

4.1. Types de communications :

Dans ces réseaux de véhicules, les services proposés permettent de distinguer plusieurs communications possibles, comme vous pouvez le constater sur la figure 3 [MAR07].

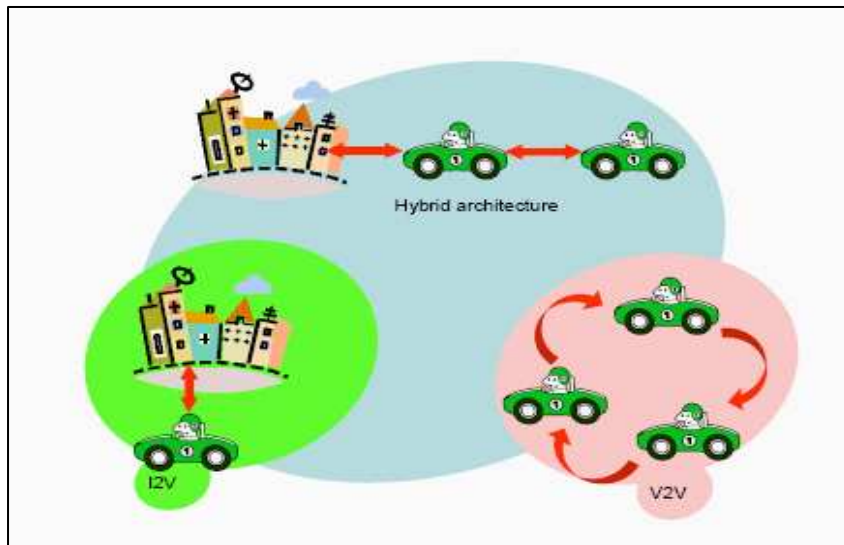


Figure 3 : Types de communication dans un réseau de véhicules.

4.1.1. Communications de Véhicule à Véhicule :

Les services et les applications qui sont basées sur la simple communication inter véhicule et n'impliquant pas d'infrastructure fonctionnent seulement dans le cas où un taux de pénétration suffisant de véhicules équipés a été atteint. En raison des longs cycles de vie des véhicules, un taux de pénétration approprié peut seulement être atteint après plusieurs années, même si toutes les voitures nouvellement produites ont été équipées en juste proportion. C'est pourquoi, les constructeurs automobiles doivent penser aux stratégies d'introduction graduelles du marché.

4.1.2. Communications de Véhicule à Infrastructure :

Nous ne nous concentrons pas donc seulement sur des simples systèmes de communications inter véhicules, mais prenons aussi en compte des applications qui utilisent des unités installées au bord de la route (road side units ou RSUs). Ceux-ci démultiplient les services grâce à des portails Internet communs.

Des services à base d'infrastructure (accès à Internet, échange de données par exemple de voiture à domestique, communications de voiture à parking pour le diagnostic distant, ...) profitent aux clients et peuvent motiver des conducteurs à investir dans l'équipement sans fil supplémentaire pour leurs véhicules.

4.1.3. Communications hybrides :

La combinaison de ces deux types de communications permet d'obtenir une communication hybride très intéressante. En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation de véhicules comme relais permet d'étendre cette distance. Dans un but économique en évitant de multiplier les bornes à chaque coin de rue, l'utilisation de sauts par véhicules intermédiaires prend toute son importance.

4.2. Applications des réseaux de véhicules :

Une des applications de ce concept consiste à munir nos voitures et nos routes de capacités de communication permettant de rendre la route plus sûre et de rendre le temps passé sur les routes plus convivial.

On peut donc distinguer deux types d'applications dans les réseaux de véhicules, les applications de confort et les applications de sécurité routière. Les contraintes de ces applications sont différentes comme par exemple la vitesse de propagation de l'information. Dans le cas d'un accident, il faut prévenir les usagers dans un temps très court alors que la diffusion de publicités n'a pas cette contrainte de temps mais elle sera par contre plus consommatrice de bande passante.

Nous allons donc décrire dans les paragraphes suivants quelques applications [MAR07, ABO08]:

4.2.1. Applications de sécurité routière :

Les applications de sécurité sont adaptées principalement vers la fuite d'accidents et la perte de vie des occupants de véhicules.

a. Alerter en cas d'accidents :

Ce service permet, dans le cas d'un accident, d'avertir les véhicules se dirigeant vers le lieu de l'accident que les conditions de circulation se trouvent modifiées et qu'il est nécessaire de redoubler de vigilance (cf. Figure 4.). Il est nécessaire, également, en cas de densité réduite de

véhicule de pouvoir conserver l'information pour pouvoir la retransmettre si un véhicule entre dans la zone de retransmission. Les messages de sécurité devront être émis à des périodes régulières. Ainsi, le ou les noeuds désignés pour la retransmission des messages émettront des alertes à instants réguliers. Les messages devront être de taille réduite pour être transmis le plus rapidement possible. Les messages devront aussi comporter les coordonnées du lieu de l'accident et les paramètres de la zone de retransmission.

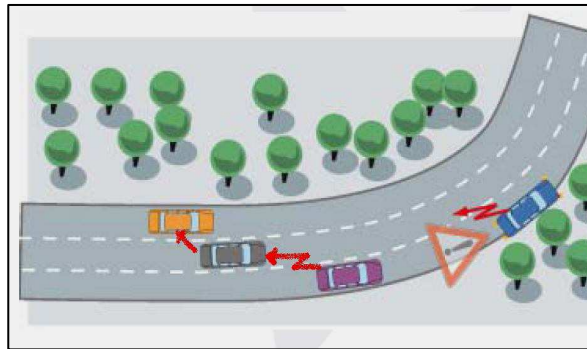


Figure 4 : Véhicule en panne

b. Alerter en cas de ralentissement anormal (bouchon, travaux, intempéries, Etc.) :

Ce service permet d'avertir les automobilistes des situations de circulation particulières (cf. Figure 5). L'information quelque soit la nature des difficultés de circulation informe l'automobiliste qu'il est nécessaire de ralentir. Le message d'alerte est émis par un véhicule détectant les difficultés de circulation (freinage important par exemple, déclenchement des feux de détresse, pluie,... etc.). Un véhicule effectuant des travaux peut également être à l'origine du message d'alerte. Comme pour le message d'alerte informant d'un accident, le message d'alerte informant d'un ralentissement doit être transmis aux autres véhicules de façon efficace et rapide.

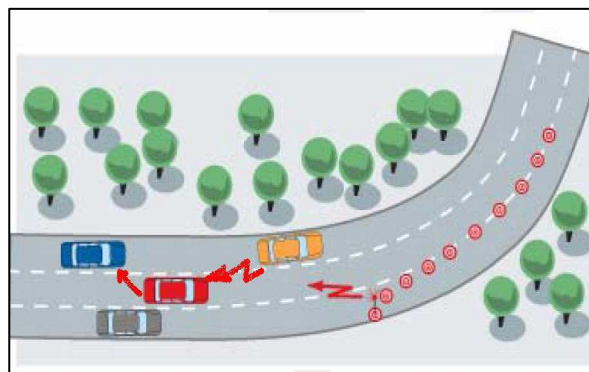


Figure 5 : Travaux sur les routes.

c. La conduite collaborative :

La conduite collaborative est un concept qui améliore considérablement la sécurité du transport routier (réduction du nombre de victimes (cf. Figure 6)). Cette innovation est basée sur un échange de renseignements entre des véhicules munis d'instruments (ex : capteurs) leur permettant de percevoir ce qui les entoure et de collaborer en groupes. Ces groupes de véhicules ou réseaux ponctuels, peuvent élaborer une stratégie de conduite collective qui exigerait peu ou pas d'interventions de la part des conducteurs. Depuis ces dernières années, différentes architectures de véhicules automatisés ont été proposées, mais la plupart d'entre elles n'ont peu ou pas investi le problème de communication inter véhicules. On peut aussi sur le même principe échanger des informations de trafic et de travaux afin de fluidifier le réseau routier en indiquant par exemple des itinéraires bis. La signalisation automatique est aussi envisageable avec l'avertissement de passage de véhicule d'urgence, ou encore l'avertissement d'une panne d'un feu tricolore.

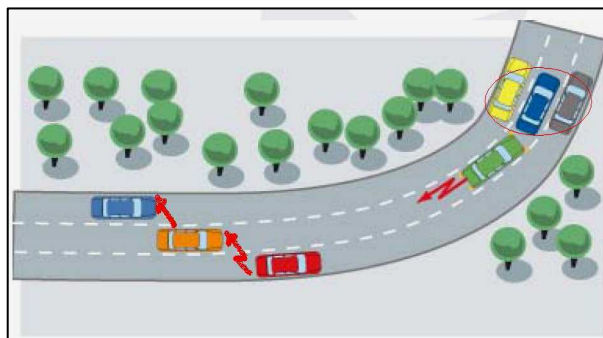


Figure 6 : Risque de collision.

4.2.2. Applications de confort :

Cette classe d'applications peut être motivée par le désir des passagers de communiquer avec d'autres véhicules ou avec des hôtes lointains via Internet.

a. Réseaux collaboratifs :

Les réseaux collaboratifs sont en train de se développer en particulier avec les réseaux pairs à pairs. On peut imaginer une chaîne de radio ou de « télévision distribuée » où chaque véhicule va partager les musiques et vidéos qu'il a en sa possession pour construire un programme de diffusion continu. Les cartes collaboratives (wiki) et les petites annonces peuvent être des services distribués à base de réseaux collaboratifs. Un système de distribution de publicités et d'informations pratiques ou de loisirs (concerts, restaurants, station de carburant ...) peut être mis en place à l'entrée des villes.

b. Internet dans les transports :

Aujourd'hui, les hot-spots (zone WiFi à accès Internet) sont de plus en plus développés dans les villes, en particulier avec les initiatives des communautés et des opérateurs de télécommunication. En voiture, on peut imaginer acheter de la musique et de la vidéo, au niveau d'une station d'essence, d'une gare ou même en pleine autoroute (en passant d'une voiture à une autre jusqu'au point d'accès le plus proche). Les passagers dans la voiture pourront ainsi jouer en réseaux, ou encore même naviguer sur Internet (cf. Figure 7).

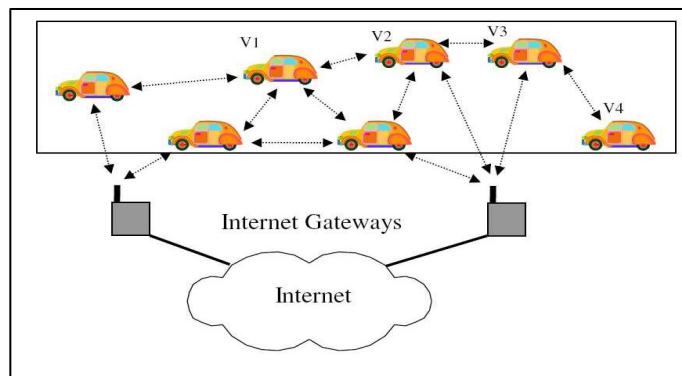


Figure 7 : Accès à Internet.

c. Gestion des espaces libres dans les parkings :

Ce service permet de rassembler des informations sur la disponibilité de l'espace de stationnement dans les parkings et de coordonner entre automobilistes afin de les guider aux espaces libres (cf. Figure 8).

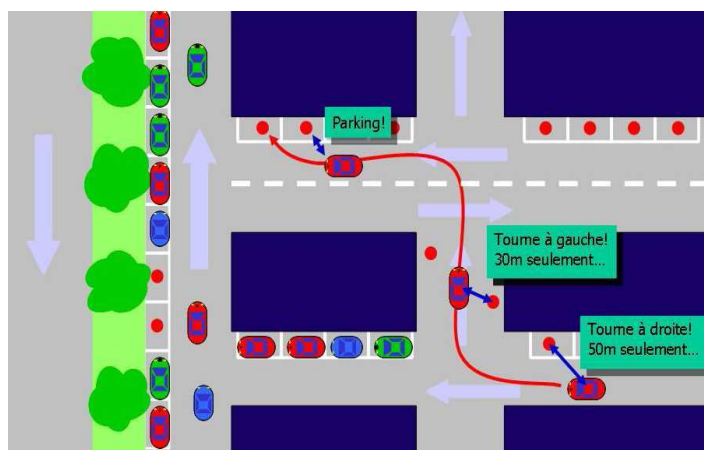


Figure 8 : Parking intelligent.

4.3. Spécificités des réseaux de véhicules :

Ce type de réseau n'est autre qu'une application dédiée et spécifique des réseaux ad hoc mobiles. Cependant, les travaux de recherche étudiés et réalisés dans le domaine des MANets ne peuvent pas être directement appliqués dans le contexte des réseaux de véhicules à cause de leurs spécificités.

Voici quelques propriétés et challenges qui distinguent les réseaux de véhicules [HWU05, HLA06, MAR07, OYL09] :

- *Topologie du réseau et connectivité* : à la différence des réseaux Ad hoc, les réseaux VANET sont caractérisés par une forte mobilité, liée à la vitesse des véhicules, en particulier sur autoroute. Un noeud peut rejoindre le réseau et le quitter en un temps très court, ce qui rend les changements de topologie très fréquents. Un des problèmes fréquents est le partitionnement ou la fragmentation du réseau, en particulier lors de la phase de déploiement de la technologie. Par ailleurs, les problématiques de passage à l'échelle doivent être prises en compte dans les solutions car le réseau peut devenir gigantesque.
- *Capacité de traitement, d'énergie et de communication* : le matériel que l'on peut embarquer dans une voiture est très différent des terminaux mobiles tels que les PDA qui ont des contraintes de taille et de poids. On peut aussi par exemple embarquer plusieurs interfaces de communication (WiFi, WiMax et Bluetooth).
- *Collection et traitement de l'information* : Les véhicules modernes sont dotés des systèmes d'acquisition et de traitement des informations de grande capacité. En utilisant des variétés des capteurs et des caméras les conducteurs peuvent, à bord de leurs véhicules, disposer d'un certain nombre d'information et d'une meilleure lisibilité de l'environnement. Grâce aux processeurs embarqués, les véhicules sont capables d'interpréter les informations collectées pour aider les conducteurs à prendre les décisions et réagir convenablement dans chaque situation rencontrée.
- *Environnement de déplacement et modèle de mobilité* : les environnements dans les réseaux ad hoc sont souvent limités à des espaces ouverts. Les déplacements des véhicules, quant à eux, sont liés aux infrastructures routières (routes, autoroutes). Les trajectoires peuvent donc être prédictibles et l'environnement peut être urbain, rural ou autoroutier. Les contraintes imposées par ce type d'environnement, à savoir les obstacles et les interférences radio, affectent le modèle de mobilité et la qualité des transmissions radio. Les protocoles et solutions doivent donc prendre en compte ces spécificités.

- *Type de transmission* : La majorité des applications des MANet utilisent les transmissions unicast, c'est à dire des communications entre deux noeuds dans le même réseau ou vers d'autre type de réseau. Mais, dans les VANet l'une des applications clé est la prévention et la sécurité routière. Ces types d'applications s'appuient sur la diffusion de messages d'une source vers un ensemble de véhicules généralement proches et limitée à une zone géographique.
- *Sécurité dans le réseau* : Le problème de sécurité de la communication est important, par exemple, un message d'urgence doit pouvoir être validé ou ignoré s'il est envoyé par un noeud malicieux.

5. Conclusion :

Comme nous avons vu dans ce chapitre, dans les réseaux VANet, les véhicules peuvent communiquer entre eux ou avec une infrastructure pour offrir aux usagers de la route diverses applications comme l'avertissement de collision de véhicule ou de distance de sécurité, l'aide de conducteur, la dissémination d'informations de route, l'accès à Internet et le stationnement automatique [BON08].

Toutes ces applications exigent la connaissance de la position des nœuds de véhicules. Par exemple, dans le cas de l'application d'avertissement de collision, il est nécessaire de localiser l'endroit de l'accident avant d'envoyer aux autres véhicules un message d'alerte [BON08].

Dans le chapitre suivant, nous allons étudier le problème de localisation dans les réseaux VANet, nous allons discuter l'importance du problème de localisation dans un certain nombre d'applications de VANet et nous allons examiner plusieurs techniques de localisation proposées qui peuvent être utilisées pour évaluer et estimer la position d'un véhicule.

Chapitre 2

Le problème de localisation dans les réseaux VANet

1. Introduction:

Les Communications entre les véhicules constituent un réseau Ad hoc de véhicules (VANet). Contrairement à MANET, dans un VANet, les noeuds qui sont des véhicules peuvent se déplacer avec une vitesse élevée et généralement doivent communiquer rapidement et sûrement.

Plusieurs informations peuvent être échangées entre les véhicules, par exemple quand un accident se produit dans une route, des messages d'alerte doivent être disséminés (au lieu de les acheminer dans les réseaux ad hoc) pour informer tous les autres véhicules. Localiser un véhicule cassé (ou un véhicule en danger) et localiser aussi les véhicules dans son voisinage est très important pour la sécurité des usagers de la route [BEN05].

Dans ce chapitre, nous présentons le problème de localisation des véhicules dans les réseaux VANet. Pour cela, nous montrons les nécessités de localisation pour un certain nombre d'application VANet et nous examinons plusieurs techniques et solutions proposées qui peuvent être utilisées pour évaluer et estimer la position d'un véhicule.

2. Applications VANet exigeant la localisation des véhicules:

La plupart des applications VANET considèrent la disponibilité d'informations de position mises à jour en temps réel. Elles diffèrent, cependant, sur l'exactitude de la localisation à exiger pour être capable de fonctionner correctement. Par exemple, quelques applications peuvent travailler avec des informations de localisation imprécises dans lesquelles les positions calculées peuvent avoir des erreurs de 10 à 20 ou 30 m, tandis que d'autres applications particulièrement critiques de sécurité, exigent des systèmes plus précis et plus fiables.

Dans [BON08], les auteurs ont divisé les applications VANET en trois groupes principaux selon leurs exigences de localisation et ont montré comment les informations de position sont utilisées selon ces protocoles et algorithmes (cf. Figure 9).

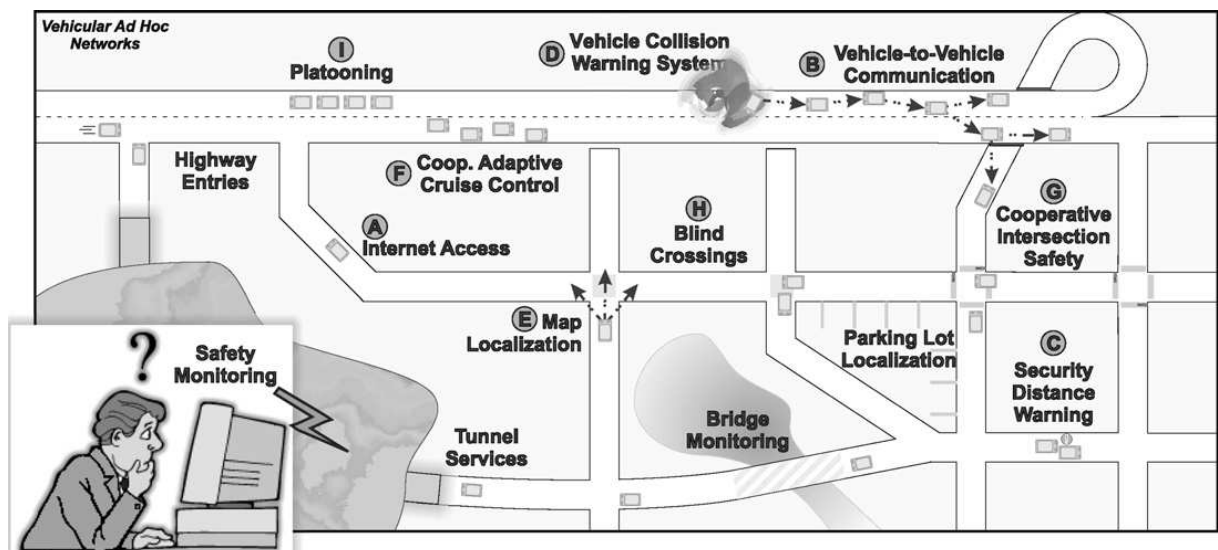


Figure 9 : Applications VANet exigeant la localisation des véhicules.

2.1 Applications capables de travailler avec localisation imprécise :

Bien que quelques applications VANET n'exigent pas que la localisation fonctionne, la plupart d'entre elles peuvent profiter de la localisation et montrer la meilleure performance quand les informations de position de véhicules sont disponibles. La plupart de ces applications sont liées à la communication de véhicules, qui inclut la communication de véhicule vers véhicule (V2V) et de véhicule vers une infrastructure (V2I), et fournissent des services comme l'acheminement d'informations et la dissémination de données d'accidents, etc. Les algorithmes qui traitent la communication peuvent tolérer des erreurs de localisation de l'ordre de 10-20 ou même 30 m,

puisque la longueur de la zone de transmission d'émetteurs des véhicules peut compenser de ces inexactitudes de localisation.

Dans les paragraphes suivants nous discuterons certaines de ces applications :

- *Les protocoles de routage pour VANet* [CCA06], utilisent habituellement des informations de position pour améliorer leurs performances et être capable d'observer de telles exigences de VANet comme la topologie dynamique et la fragmentation du réseau qui changent fréquemment. Cette technique de routage a été longtemps utilisée dans les réseaux Ad hoc [KVA98, YGE01] et la plupart de ses protocoles peuvent aussi être appliqués dans les VANet. Un exemple classique est *Greedy Forwarding* [KKU00, YGE01], dans lequel, les informations d'emplacement sont utilisées à chaque étape de transmettre un paquet vers le voisin le plus proche du nœud de destination.
- *Plusieurs protocoles de dissémination de données* [SFL00, BEN04] ont été proposés pour VANet, ces protocoles visent à informer les autres véhicules sur les conditions de transit comme le flux de route, la congestion et des situations potentiellement dangereuses. La plupart de ces protocoles considèrent aussi la connaissance de localisation surtout pour assurer que l'information localement disséminée atteint seulement les véhicules qui devraient être intéressés par cela. Dans la figure 9.B, des informations de route sur une situation dangereuse sont disséminées aux véhicules concernés.
- *Une application d'aide à la conduite* largement connue et déjà utilisée qui est **la carte de localisation (map localization)**, dans laquelle on montre la position actuelle du véhicule sur une carte. Dans ce type d'application, une direction de chemin entre deux points de la ville, par exemple, peut être dessinée sur une carte indiquant l'emplacement actuel du véhicule. Cette application peut aider des conducteurs dans des situations où ils se trouvent perdus dans une partie inconnue de la ville, comme celle représentée par la figure 9.E. Les informations de localisation avec des erreurs d'environ 10-20 m sont prouvées pour être utiles pour ce type d'application, puisque les connaissances de la carte peuvent être utilisées pour surmonter cette haute inexactitude de localisation.

2.2. Applications exigeant la localisation précise :

Ce type d'application exige un certain degré de précision dans les positions calculées et/ou dans l'évaluation de distance entre des véhicules. Les applications dans ce groupe sont

habituellement des applications de *Conduite Coopérative*, où les véhicules échangent des messages entre eux pour conduire et partager en collaboration l'espace disponible sur la route. Dans ces applications, les véhicules peuvent assumer partiellement le contrôle de la conduite. Dans la plupart des cas, les erreurs de localisation acceptables sont entre 1 et 5 mètres.

Dans les paragraphes suivants nous discuterons certaines de ces applications et algorithmes.

- *La commande de croisière adaptative coopérative* (ou Cooperative Adaptive Cruise Control CACC) : La technologie du régulateur de vitesse adaptatif et coopératif (CACC) va plus loin qu'un régulateur de vitesse standard car elle adapte automatiquement la vitesse du véhicule par rapport au véhicule précédent.

CACC détecte quand un autre véhicule (appelé le véhicule cible) est dans le chemin en avant, pour coopérer avec lui et mettre cette vitesse adaptative (cf. Figure 9.F). Le véhicule reçoit aussi des informations GPS (l'emplacement, la vitesse et la direction) des véhicules en avance sur lui et émet ces informations aux véhicules derrière lui.

Cette application s'occupe seulement de la vitesse, tandis que le conducteur doit toujours contrôler la direction du véhicule.

- *La sécurité coopérative d'intersection* : Est une autre application intéressante de VANet, dans laquelle les véhicules qui arrivent à un carrefour échangent des messages afin de faire un passage à un niveau de sécurité (cf. Figure 9.G), et de garantir un passage sûr. Il est également possible de faire un passage à un niveau aveugle, où il n'y a aucun contrôle léger et les véhicules coopèrent entre eux pour faire un croisement coopératif (cf. Figure 9.H). Dans ces applications, la précision de la localisation doit permettre à l'application de se différencier entre les voies ainsi que les côtés de la rue.
- *Le platooning* : C'est une technique qui permet à un ou plusieurs véhicules de suivre un véhicule leader pour former un système semblable au train, comme indiqué dans la figure 9.I. Cette application peut être utile dans des situations où deux véhicules ou plus vont au même endroit. Une distance minimale doit être assurée entre les véhicules. Aussi, les véhicules doivent suivre à la trace la position du véhicule devant eux avec une bonne précision.

2.3. Applications exigeant la localisation avec haute précision :

Une troisième classe d'applications pour VANet exige des systèmes de localisation très précis et fiables. La plupart de ces applications sont des applications critiques de sécurité comme les systèmes d'avertissement de collision de véhicule (*Collision Warning Systems CWS*) et d'autres applications d'aide au conducteur. Dans les applications d'aide au conducteur, des ressources VANet sont utilisées pour augmenter la perception du conducteur et la connaissance de la route et de l'environnement. Dans ces applications, le conducteur est informé de l'environnement pour améliorer la sécurité, et en cas d'urgence, le véhicule peut exécuter quelques procédures automatiques. Celles-ci sont les applications les plus intéressantes pour VANet et puisque la sécurité, la fiabilité et la précision d'information de position sont cruciales. Dans ce qui suit, nous présenterons certaines de ces applications et algorithmes.

- *Les systèmes d'avertissement de collision de véhicules* (ou *Vehicle Collision Warning Systems VCWS*):

Les VCWS [BEN04, BTD06] sont l'une des applications les plus intéressantes de VANet pour l'aide au conducteur. Une partie de ces systèmes est *l'avertissement de distance de sécurité*, dans lequel le conducteur est averti quand une distance minimale à un autre véhicule est atteinte (cf. Figure 9.C). Il peut aussi mettre en oeuvre une pause de secours quand la distance entre deux véhicules ou entre un véhicule et un obstacle diminue trop rapidement.

Une autre partie de ces systèmes est quand une collision s'est déjà produite et des véhicules voisins doivent être avertis (par des messages) donc ils peuvent éviter des carambolages (cf. Figure 9.D). Dans ces cas, la communication multi-sauts peut être utilisée pour disséminer des informations de collision. Ces applications exigent des systèmes de localisation robustes, précis et fiables.

- *Le stationnement automatique :*

Le stationnement automatique est une application par laquelle un véhicule peut se garer sans le besoin de l'intervention du conducteur. Pour être capable d'exécuter un stationnement automatique, un véhicule a besoin d'experts précis de distance et/ou un système de localisation avec précision moins de mètre.

3. Techniques de localisation pour les réseaux Ad hoc de Véhicules :

Un certain nombre de techniques de localisation ont été proposées pour calculer la position des noeuds mobiles. Un aspect intéressant de VANet est que la plupart de ces techniques de localisation peuvent être appliquées facilement à ces réseaux. La figure 10 représente un certain nombre de techniques de localisation qui peuvent être utilisées dans les véhicules afin d'évaluer leurs positions, à savoir *GPS*, *Map Matching*, *Dead Reckoning*, *Localisation Cellulaire*, *Traitement d'Image/Vidéo* et *localisation relative*.

Dans cette section, nous expliquons brièvement chacune de ces techniques et nous discutons quand et comment elles peuvent être utilisées pour localiser les véhicules :

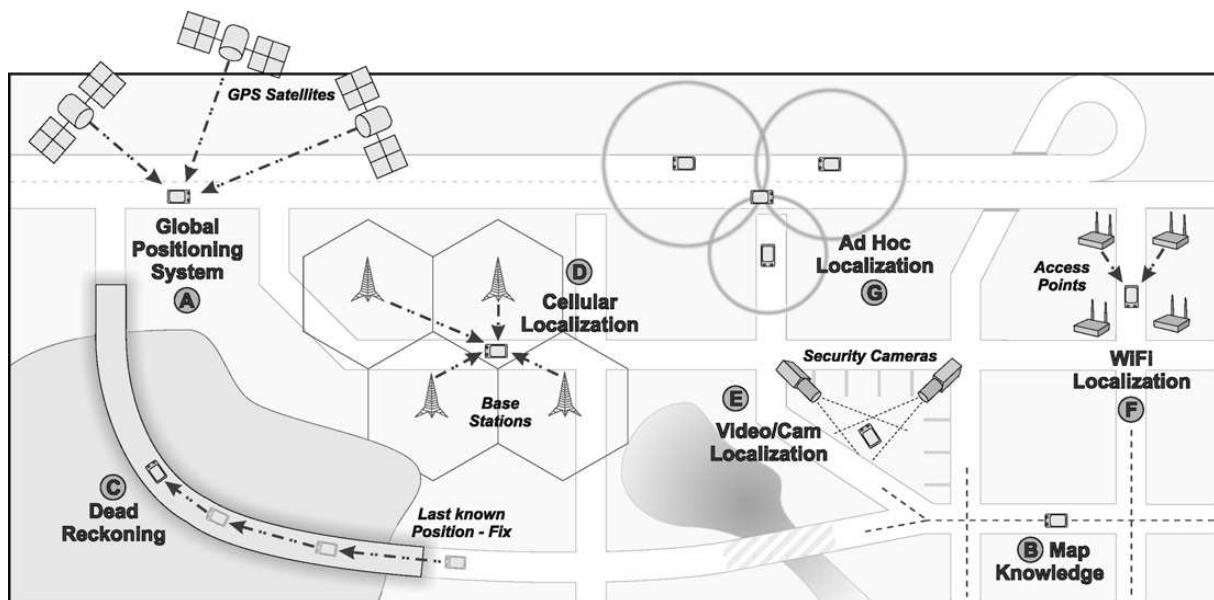


Figure 10 : Techniques de localisation appliquées dans VANet

3.1. Système de positionnement mondial (ou Global Positioning System GPS):

Le GPS [HLC97, BEH04], est le principal système de positionnement par satellite au monde. Il a été mis en place par le Département de la Défense des États-Unis et permet de connaître la position n'importe où au voisinage de la surface de la terre, en mer, dans l'air ou dans l'espace.

Il est composé de 24 satellites qui fonctionnent en orbite autour de la terre. Chaque satellite entoure la terre à une hauteur de 20.200 km et fait deux rotations complètes chaque jour. Les orbites ont été définies d'une telle façon que chaque région de la terre peut voir au moins quatre satellites en même temps.

Un récepteur GPS est un équipement qui est capable de recevoir constamment des informations envoyées par les satellites et utilise ces informations pour évaluer sa distance à au moins quatre satellites connus utilisant une technique appelée le temps d'arrivée (**ToA**) et, finalement, calculer sa position en utilisant la technique de trilatération [BON07]. Une fois que ces procédures ont été exécutées, le récepteur est capable de connaître sa latitude, longitude et l'altitude.

La solution principale pour la localisation dans les VANet est d'équiper chaque véhicule d'un récepteur GPS (cf. Figure 10.A). C'est une solution très raisonnable puisque les récepteurs GPS peuvent être installés facilement dans les véhicules. Pour qu'un véhicule puisse calculer sa position, son récepteur GPS a besoin d'accéder à au moins trois signaux satellites pour le positionnement de 2D et au moins quatre signaux satellites pour le positionnement de 3D. Mais, le problème est que ces signaux sont facilement dérangés ou bloqués par des obstacles. Cela cause l'inexactitude ou la non disponibilité de la l'information de position.

Les récepteurs GPS ont une erreur de localisation de ± 10 à ± 30 m. Tandis que c'est un niveau de précision raisonnable pour la plupart des applications, ce n'est pas certainement assez pour des applications critiques, comme expliqué dans la section précédente.

En raison des limitations des récepteurs GPS, ces derniers ne sont utilisés que dans les applications VANet qui n'exigent pas l'information précise et fiable, comme les applications étudiées dans la Section 2.1. Pour être utilisé par des applications critiques, les informations de position obtenues par le GPS doivent être combinées avec des sources différentes d'informations de position, ou des connaissances géographiques. Dans les sections suivantes, nous montrerons la plupart des techniques qui peuvent être utilisées comme des sources d'informations de position pour améliorer la localisation GPS ou la remplacer complètement dans les cas où ce dernier n'est pas disponible.

3.2. Map matching :

Les études actuelles dans les systèmes d'information Géographiques (SIG) ont permis la collection et le stockage, aussi bien que l'accès à des données géographiques très précises même pour des dispositifs moins puissants. Cette technologie a été avec succès appliquée pour stocker les informations de carte de ville dans des systèmes de carte de localisation récemment développés pour la navigation des véhicules (cf. Figure 10.B).

Dans la technique Map Matching [KHW88, JSZ05], plusieurs positions obtenues périodiquement peuvent être utilisées pour créer une trajectoire évaluée. Cette trajectoire est alors comparée aux données de la carte numérique pour trouver la géométrie du chemin la plus appropriée sur la carte qui correspond à la trajectoire. En utilisant cette technique, les informations de position peuvent être précisément représentées sur la carte.

3.3. Dead Reckoning :

En utilisant le Dead Reckoning [KHW88, KFT06], la position actuelle d'un véhicule peut être calculée en se basant sur sa dernière position connue et en utilisant les informations de mouvement comme la direction, la vitesse, l'accélération, la distance, le temps,... etc. La dernière position connue peut être obtenue, par exemple, en utilisant des récepteurs GPS (qui est le plus commun) ou en localisant une référence connue (carrefour, parking, etc.) sur une carte numérique.

Dans les VANet, le Dead Reckoning peut être utilisé seulement pendant des périodes courtes dans le cas de l'absence de GPS. La raison d'éviter l'utilisation de cette technique au cours de longues périodes de temps est qu'elle peut accumuler facilement des erreurs. Par exemple, des erreurs de 10 à 20 m peut être atteintes seulement dans 30s après la dernière correction de position si en voyageant avec une vitesse de 100 km/h [KKK05, PVA06].

Puisque le Dead Reckoning accumule rapidement des erreurs, on l'utilise seulement comme un système de secours et ceci pendant la non disponibilité des informations GPS, comme indiqué dans la Figure 10.C, dans lequel un véhicule rentre dans un tunnel et perd sa connexion GPS. Dans cet exemple, la dernière position calculée est utilisée comme une position de correction.

3.4. Localisation cellulaire :

La localisation cellulaire [SON94, CHH06] profite de la présence d'infrastructure cellulaire mobile dans la plupart des milieux urbains pour évaluer la position d'un objet. Les applications connues de cette technologie incluent la localisation des téléphones portables, le suivi des animaux domestiques et la localisation des véhicules.

Pour fonctionner correctement, les systèmes cellulaires mobiles exigent l'installation d'une infrastructure de communication composée d'un certain nombre de stations de base cellulaires. Chaque station de base est responsable de fournir la communication aux téléphones portables situés dans sa zone. Comme les téléphones portables se déplacent dans une ville, ils continuent à changer

leur station de base quand la force du signal d'une nouvelle station de base devient plus forte que celle du signal utilisé. Cette procédure est appelée handoff.

Bien que seulement une station de base soit utilisée dans la communication, d'habitude plusieurs stations de base peuvent écouter et communiquer avec un téléphone portable à tout moment. Cela permet à un certain nombre de techniques de localisation d'être utilisées pour évaluer la position du téléphone portable. Une technique bien connue appelée l'indicateur de force du signal reçu (**RSSI**) utilise la force des signaux reçus pour délivrer la distance aux stations de base. Il est aussi possible d'évaluer la distance en se basant sur le temps qu'il prend un signal émis par l'expéditeur pour parvenir à la station de base (le temps d'arrivée - **ToA**). On peut utiliser aussi l'angle auquel le signal parvient à une station de base (**AoA**) pour calculer la distance aux stations de base. Une fois que nous avons les distances du téléphone portable à au moins trois stations de base, il est possible de calculer la position du téléphone portable en utilisant la technique de trilatération (cf. Figure 10.D).

La localisation cellulaire est d'habitude moins précise que le GPS. L'exactitude dépend d'un certain nombre de facteurs comme le milieu urbain actuel, le nombre de stations de base détectant le signal, l'algorithme de positionnement utilisé, ...etc. Dans la plupart des cas, l'erreur de localisation moyenne est entre 90 m et 250 m, ce qui n'est pas acceptable même pour les applications qui n'exigent pas une précision (comme les applications étudiées dans la Section 2.1). Cependant, les informations de position rassemblées par cette technique peuvent toujours être utiles quand elles sont combinées avec le Dead Reackoning et/ou la technique Map Matching. Aussi, les signaux de l'infrastructure Cellulaire ont plus de disponibilité dans des milieux urbains que des signaux de satellite (utilisé par les récepteurs GPS) qui peuvent être utiles pour des environnements intérieurs comme des parkings et même des tunnels.

3.5. Traitement d'image/vidéo:

Des sources d'information d'image et de vidéo et des techniques de traitement de données peuvent être aussi utilisées pour des buts de localisation, particulièrement dans des systèmes de guidage de robot mobiles [SHB02]. Dans certains cas, des caméras sont disponibles dans les systèmes de sécurité mis en oeuvre dans des parkings et des tunnels, comme indiqué dans la Figure 10.E. Généralement, ces techniques de traitement d'image/Vidéo sont utilisées pour alimenter des algorithmes de fusion de données pour évaluer et prévoir (suivent à la trace) l'emplacement d'un véhicule [NLF07]. En fait, les informations d'image et de vidéo sont des sources réelles que l'on peut les utiliser pour calculer les paramètres d'emplacement d'un véhicule.

Par exemple, les algorithmes de vision [CLA02, CLC05] sont utilisés pour détecter les bords de voies dans l'image/vidéo. Ils estiment précisément les paramètres géométriques du véhicule dans un système de référence local, y compris la largeur de voie, la distance du véhicule du côté gauche de la voie, l'angle de direction du véhicule et l'angle d'inclinaison de la caméra.

3.6. Localisation relative distribuée:

Des cartes de position relatives et locales peuvent être construites par un véhicule en évaluant les distances entre ses voisins et en échangeant cette information de distance par une communication multi-sauts. Avec cette carte de position dynamique, un véhicule peut se localiser par rapport aux véhicules voisins et aussi de localiser les véhicules dans son voisinage (Figure 10.G). Ce type de localisation relative a été utilisé surtout dans les réseaux Ad hoc et les réseaux de Capteurs [SHS01, CHH02, ISI03], mais récemment ils ont proposé un certain nombre de solutions pour les réseaux VANet [BEN05, PVA06, KKK05].

Dans [BEN05], l'auteur a proposé un algorithme de localisation distribué pour aider des véhicules non équipés de GPS à évaluer leurs positions en exploitant les informations venant des véhicules voisins équipés de GPS. Pour évaluer une position, un véhicule non équipé de GPS doit communiquer avec au moins trois véhicules équipés de GPS dans son voisinage pour évaluer les distances et calculer sa position. Quand le nombre de véhicules voisins équipés de GPS est moins de trois, l'auteur montre comment déduire au moins la direction du véhicule et la distance séparant le véhicule d'un accident produit et ceci avec le peu d'information disponible.

Dans [PVA06], les auteurs ont proposé un autre système de localisation distribué pour les réseaux VANet, dans lequel les distances entre les véhicules sont calculées en utilisant la technique RSSI. Cette information est utilisée par un algorithme d'optimisation pour améliorer l'évaluation de la position initiale des véhicules (obtenue, par exemple, par un GPS).

Dans [KKK05], Kukshya et al. ont proposé une architecture pour déterminer la position relative d'un groupe (cluster) de véhicules qui n'exige pas des informations GPS et cette architecture est devenue appropriée pour les VANet. Cette architecture se base aussi sur des mesures d'évaluation de distance.

4. conclusion :

Dans les réseaux ad hoc de véhicules, la connaissance de la position des noeuds en temps réel est une supposition faite par la plupart des protocoles, des algorithmes et des applications. C'est une supposition très raisonnable, puisque des récepteurs GPS peuvent être installés facilement dans les véhicules. Mais, comme les VANet avancent dans des secteurs critiques et deviennent plus dépendant sur des systèmes de localisation, le GPS commence à montrer quelques problèmes peu désirés comme non toujours disponible ou pas assez robuste pour quelques applications. Pour ces raisons, un certain nombre d'autres techniques de localisation comme le Dead Reckoning, la localisation cellulaire, le traitement d'Image/Vidéo et la localisation relative ont été proposées pour VANet afin de surmonter les limitations de GPS.

La plupart des applications VANet peuvent utiliser la technique de localisation relative puisque la majorité ou presque tous les véhicules ne sont pas équipés des récepteurs GPS.

Dans le chapitre suivant, nous allons donner une présentation synthétique des différentes solutions et protocoles de localisation relative qui existent et qui peuvent être appliquées dans les réseaux ad hoc de véhicules (VANet) afin de localiser les nœuds de véhicules.

Chapitre 3

Les protocoles de localisation relative

1. Introduction :

Le système de positionnement global (GPS) a été largement utilisé pour localiser les événements. Bien qu'il soit possible de trouver la position de chaque véhicule dans un réseau de véhicules à l'aide du système de positionnement global (GPS) installé dans tous les véhicules. Il y a beaucoup d'applications exigeant des services à l'intérieur (par exemple dans un tunnel), où la ligne d'accès de vue aux satellites est indisponible [BEN05].

Pour la localisation par rapport à un accident quand un véhicule est informé de l'existence d'un accident ou d'un danger est une tâche très importante. Cela permet d'éviter le carambolage de véhicules et éviter la perte de vie humaine. La localisation est très simple quand le véhicule est équipé de GPS. Ainsi, la découverte de la position de chaque véhicule sans l'aide de GPS est aussi importante dans des cas où le GPS n'est pas accessible, ou non pratique pour l'utiliser [BEN05].

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différentes techniques de positionnement de nœuds (ou *protocoles de localisation relative*) qui peuvent être appliquées sur les réseaux ad hoc de véhicules.

2. La localisation des nœuds dans les réseaux ad hoc (MANet):

En raison de la mobilité des nœuds, la topologie d'un réseau ad hoc est susceptible de fréquents changements. Router dans de telles conditions devient une tâche complexe. De plus, le passage à l'échelle dans les réseaux ad hoc semble être une question préoccupante quand le nombre de nœuds mobiles augmente.

Des protocoles de routage basés sur la topologie sont proposés pour de tels réseaux mais, il semble intéressant de regarder des solutions alternatives afin d'améliorer le routage et le passage à l'échelle.

En parallèle au développement des algorithmes de routage ad hoc, de nouveaux protocoles de routage sont développés pour faciliter un routage à grande échelle : les protocoles de routage géographique en sont un exemple. La métrique de routage est ici la plus courte distance entre le prochain nœud et la destination. On route donc l'information "au plus près" et en "direction" de la destination.

Néanmoins, la plupart des propositions utilisant un routage géographique, supposent que des réseaux ad hoc se composent de nœuds homogènes (nœuds possédant un GPS ou de nœuds simples pour des nœuds sans GPS) [EFP03].

Plusieurs protocoles ont été proposés dans la littérature afin de localiser les nœuds dans les réseaux ad hoc mobiles, parmi ces protocoles on a choisi un protocole présenté dans [CHH02] qui n'utilise pas des récepteurs GPS et qui est basé sur les calculs de distances entre les nœuds voisins pour estimer la position relative d'un nœud.

Le protocole proposé dans [CHH02] comprend deux étapes ; à savoir l'établissement des coordonnées locales et l'établissement des coordonnées globales dont lequel on calcule la direction et la position des nœuds de véhicules.

2.1. L'établissement des systèmes de coordonnées locales:

Dans cette section, nous montrons comment chaque nœud construit son système de coordonnées locales. Le nœud devient le centre de son système de coordonnées avec la position (0, 0) et les positions de ses voisins sont calculées en conséquence.

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

Si le noeud « j » peut communiquer directement (en un seul saut) avec le noeud « i », donc le noeud « j » est appelé un voisin à un saut de « i ».

$\forall i \in N$, nous définissons K_i comme l'ensemble des voisins à un saut de « i » (où N est l'ensemble de tous les noeuds dans le réseau). De même $\forall i \in N$, nous définissons D_i , comme l'ensemble des distances entre « i » et chaque noeud $j \in K_i$.

Les voisins peuvent être détectés en envoyant périodiquement des balises (beacons). Après l'absence d'un certain nombre de balises successifs, on conclut que le noeud n'est plus un voisin. Les distances entre les noeuds sont mesurées par exemple par la méthode de temps d'arrivée.

La procédure suivante est exécutée par chaque noeud i :

- Détecte les voisins à un saut (K_i).
- Mesure les distances aux voisins à un saut (D_i).
- Envoie les ensembles K_i et D_i à tous les voisins à un saut.

En choisissant deux noeuds $p, q \in K_i$ tel que la distance entre p et q (d_{pq}) est connue et les noeuds « i », « p » et « q » ne se trouvent pas sur la même ligne, le noeud « i » définit son système de coordonnées locales. Ce dernier est défini tel que le noeud « p » se trouve sur l'axe positif des abscisses du système de coordonnées et le noeud « q » a une composante q_y positive.

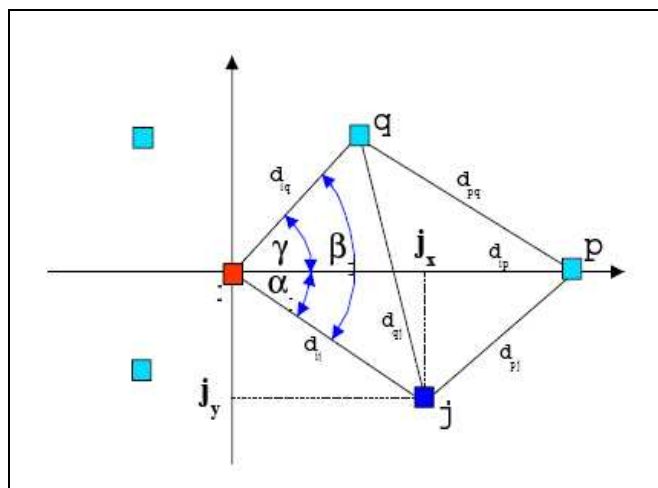


Figure 11 : Le système de coordonnées locales du noeud « i ».

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

De cette façon, le système de coordonnées locales de « i » est défini uniquement comme une fonction des coordonnées de « i », « p » et « q ». Les coordonnées des noeuds « i », « p » et « q » sont données par:

$$\begin{aligned} i_x &= 0 ; i_y = 0 \\ p_x &= d_{ip} ; p_y = 0 \\ q_x &= d_{iq} \cos \gamma ; q_y = d_{iq} \sin \gamma \end{aligned}$$

Où γ est l'angle $\hat{p}i\hat{q}$ et il est obtenu en utilisant la formule suivante:

$$\gamma = \arccos \frac{d_{iq}^2 + d_{ip}^2 - d_{pq}^2}{2d_{iq}d_{ip}}$$

La position d'un noeud, $j \in K_i, j \neq p, q$ pour lequel on connaît les distances d_{ij}, d_{qj} et d_{pj} , est calculée par triangulation de la façon suivante :

$$\begin{aligned} j_x &= d_{ij} \cos \alpha_j ; \\ \text{Si } \beta_j &= |\alpha_j - \gamma| \Rightarrow j_y = d_{ij} \sin \alpha_j \\ \text{Sinon } &\Rightarrow j_y = -d_{ij} \sin \alpha_j ; \end{aligned}$$

Où α_j est l'angle $\hat{p}i\hat{j}$ et β_j est l'angle $\hat{q}i\hat{j}$. En pratique, β_j ne sera jamais exactement égal à $|\alpha_j - \gamma|$ en raison des erreurs dans les mesures de distance.

Nous obtenons les valeurs de α_i et β_j en utilisant les formules suivantes:

$$\begin{aligned} \alpha_j &= \arccos \frac{d_{ij}^2 + d_{ip}^2 - d_{pj}^2}{2d_{ij}d_{ip}} \\ \beta_j &= \arccos \frac{d_{iq}^2 + d_{ij}^2 - d_{qj}^2}{2d_{ij}d_{iq}} \end{aligned}$$

La figure 11 montre l'exemple de ce calcul pour le noeud « j ». La position du noeud $k \in K_i, k \neq p, q$ qui n'est pas le voisin des noeuds p et q, peut être calculée en utilisant les positions du noeud « i » et au moins deux autres noeuds pour lesquels les positions sont déjà déterminées, si on connaît la distance du noeud « k » par rapport à ces noeuds.

2.2. L'établissement du système de coordonnées globales :

Après la construction des systèmes de coordonnées par les différents nœuds, les positions de ces derniers sont mises à (0,0) et leurs systèmes de coordonnées ont des directions différentes. Sachant que deux systèmes de coordonnées ont la même direction si leurs axes x et y ont aussi la même direction.

Dans cette section nous décrivons comment ajuster les directions des systèmes de coordonnées locaux des nœuds pour obtenir la même direction pour tous les nœuds dans le réseau et comment calculer les positions des nœuds dans le système de coordonnées global.

2.2.1. La direction dans un système de coordonnées globales:

Nous observons deux nœuds, « i » et « k ». Pour ajuster la direction du système de coordonnées du nœud « k » à la même direction que le système de coordonnées du nœud « i », le nœud « k » doit subir une rotation et probablement faire le miroir de son système de coordonnées. Nous appelons cet angle de rotation l'angle de correction pour le nœud « k ». Pour exécuter l'opération de correction angulaire, deux conditions doivent être satisfaites :

- $i \in LVS_k$ et $k \in LVS_i$
- $\exists j \neq i, k$ tels que $j \in LVS_k$ et $j \in LVS_i$

Où LVS_i est l'ensemble des nœuds où le nœud « i » peut calculer leurs positions dans son système de coordonnées locales.

Il y a deux situations possibles. Dans la première situation, le système de coordonnées du nœud « k » doit subir une rotation d'un angle $(\beta_i - \alpha_k + \pi)$. Dans la deuxième situation, la rotation du système de coordonnées du nœud « k » par l'angle $\beta_i + \alpha_k$ ne suffit pas pour avoir la même direction des systèmes de coordonnées; de plus, le système de coordonnées du nœud « k » doit être reflété autour de l'un de ses axes après la rotation. Ces deux situations sont illustrées dans la figure 12.

α_k Est l'angle du vecteur \vec{ik} dans le système de coordonnées du nœud « i » et β_i est l'angle du vecteur \vec{ki} dans le système de coordonnées du nœud « k ». Toutes les rotations du nœud « k » sont dans la direction positive de son système de coordonnées locales.

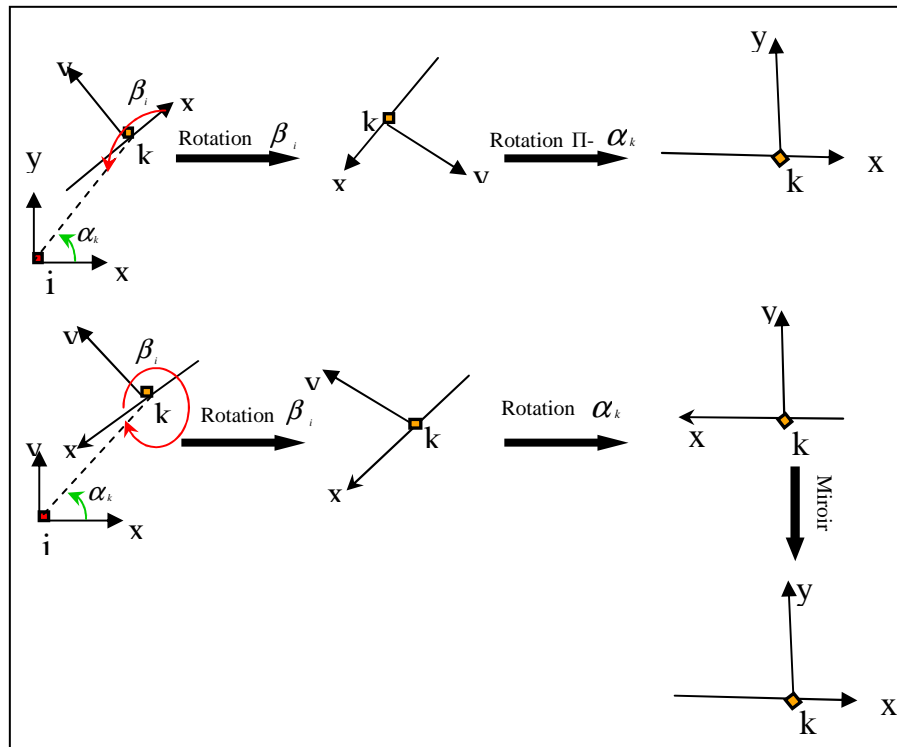


Figure 12 : Les deux situations de correction du système de coordonnées du nœud « k ».

2.2.2. Le calcul des positions :

Nous avons montré que les nœuds peuvent déterminer leurs systèmes de coordonnées locales et sont capables d'ajuster leurs systèmes de coordonnées par rapport à leurs voisins. Le but de cette étape est que tous les nœuds dans le réseau calculent leurs positions dans le système de coordonnées globales. Nous choisissons le système de coordonnée global comme le système de coordonnées locales de l'un des nœuds dans le réseau (par exemple le nœud « i »). Donc, tous les nœuds dans le réseau doivent ajuster les directions de leurs systèmes de coordonnées suivant la direction du système de coordonnées du nœud « i » et chaque nœud doit calculer sa position dans le système de coordonnées du nœud « i ».

Dans cette section, nous expliquons comment les nœuds peuvent calculer leurs positions dans le système de coordonnées du nœud « i ». Tous les nœuds qui appartiennent à l'ensemble LVS_i connaissent leurs positions, comme elle est calculée directement par le nœud « i ». Donc, le nœud « k » connaît sa position dans le système de coordonnées du nœud « i ». Nous observons maintenant le nœud « l », qui est un voisin à deux sauts du nœud « i » et appartient à l'ensemble LVS_k . Comme les systèmes de coordonnées des nœuds « k » et « i » ont les mêmes directions, la position du nœud « l » dans le système de coordonnées du nœud « i » est obtenue simplement comme une somme de deux vecteurs.

$$\vec{il} = \vec{ik} + \vec{kl}$$

La même procédure est appliquée au voisins à 3 sauts du noeud « i » qui appartient au LVS_i .

3. La localisation des nœuds dans les réseaux de capteurs sans fil (WSN) :

De nombreuses applications dans les réseaux de capteurs nécessitent la connaissance de la localisation des noeuds : application médicale, contrôle du climat, surveillance, ... en sont des exemples. Les solutions proposées doivent prendre en compte les caractéristiques des capteurs : les capteurs sont des petits appareils dotés d'une batterie, capables de communiquer entre eux et de détecter des événements s'ils se trouvent à l'intérieur de leurs rayons de perception.

Dans [ISI03], R.Iyengar et B.Sikdar ont proposé un algorithme de positionnement distribué et scalable pour les réseaux de capteurs sans fil. Cet algorithme est une amélioration de l'algorithme présenté précédemment en terme du nombre de messages échangés et du temps de calcul des coordonnées des nœuds. L'algorithme est basé sur une approche de formation de groupes (Clusterisation) où un petit sous ensemble de noeuds (seulement les chefs de groupes) doit établir leur système de coordonnées local.

Dans ce qui suit, nous décrivons l'algorithme de positionnement proposé qui est divisé en deux phases : l'établissement des systèmes de coordonnées locaux à un sous-ensemble de noeuds et la convergence des systèmes de coordonnées individuels pour former un système de coordonnées global.

3.1. L'établissement des systèmes de coordonnées locales:

La formation du système de coordonnées local est basée sur la *triangulation* comme proposée dans [CHH02]. Cependant, pour garder le système scalable à mesure que le nombre de noeuds augmente, ils ont exigé la formation du système de coordonnées local à seulement un petit sous-ensemble de noeuds (qu'ils ont appelés des noeuds maîtres).

Une fois que les noeuds sont déployés aléatoirement sur une région géographique, chaque noeud commence à décrémenter un temporisateur aléatoire. Si le temporisateur du noeud « i » expire avant qu'il soit entré en contact avec n'importe quel autre noeud, le noeud « i » devient un noeud *maître* et diffuse un message établissant lui-même comme un maître. Tous les noeuds dans la portée de transmission du noeud « i » qui reçoivent ce message arrêtent la décrémentation de leurs temporisateurs et deviennent des noeuds *Esclaves*. L'ensemble des noeuds esclaves est appelé le

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

domaine du noeud maître « i ». Aussi, quelques noeuds dans le domaine du noeud « i » écoutent d'autres noeuds maîtres. Ces noeuds sont appelés des *noeuds de frontière* (border nodes) et ils sont importants dans la formation du système de coordonnées globales.

Pour établir les systèmes de coordonnées locaux et obtenir des évaluations de distance des noeuds, le protocole proposé utilise divers messages de communication inter-noeuds. Chaque message est composé de: (1) ID de l'émetteur; (2) ID du noeud maître; (3) type du message ; (4) corps du message. Un noeud peut envoyer l'un des quatre types de messages :

- M1 : Permet aux voisins d'établir les distances de l'expéditeur.
- M2 : Est envoyé par les noeuds esclaves aux maîtres avec des distances par rapport à leurs voisins.
- M3 : Est envoyé par les noeuds maîtres, fournissant les coordonnées des noeuds esclaves.
- M4 : Contient les informations sur les translations à faire par les noeuds maîtres.

Une fois que le temporisateur d'un noeud expire avant les autres dans son domaine, Le noeud assure le rôle d'un maître et émet un message M1. Les noeuds recevant ce message deviennent membres du domaine du noeuds maître et ils émettent aussi des messages M1 annonçant leurs existences. Ces messages sont aussi utilisés par les noeuds pour calculer leurs distances relatives les un par rapport aux autres. Une fois qu'un noeud obtient des évaluations de distance à un nombre pré spécifié de noeuds (2 ou 3) il envoie ces évaluations à son maître utilisant des messages M2. Le noeud maître rassemble toutes les évaluations de distance et utilise ensuite la *triangulation* pour établir un système de coordonnées. Cela forme le système de coordonnées local de chaque noeud maître.

3.2. Etablissement du système de coordonnées globales :

Une fois que les systèmes de coordonnées locales ont été établis par les noeuds maîtres. Tous les noeuds maîtres sauf un doivent réorienter leurs systèmes pour que le réseau converge à un seul système de coordonnées. Nous considérons deux noeuds maîtres « i » et « k » qui partagent un noeud de frontière « j ». La décision si le noeud « i » devrait changer son système de coordonnées au système du noeud « k » ou vice versa dépend de leurs identifications [ISI03]. Donc, le noeud maître avec l'identification la plus élevée change son système au système du noeud maître avec la plus basse identification.

Tous les noeuds maîtres attendent des mises à jour de leurs noeuds de frontière avec des messages pour calculer les changements de rotation et de translation à appliquer. Suivant son ensemble de noeuds maîtres, le noeud de frontière choisit le noeud maître avec l'identification la plus basse. À chaque étape, chaque noeud maître change son système de coordonnées pour qu'il corresponde à celui du noeud maître avec l'ID la plus petite parmi ses voisins. Les nouvelles coordonnées pour le domaine sont alors envoyées en utilisant les messages M3 pour que les esclaves puissent mettre à jour leurs positions.

3.3. La translation des coordonnées et le calcul de position :

Le mécanisme présenté dans [CHH02] pour déterminer les paramètres de translation pour un système de trois noeuds, ne peut pas être appliqué directement ici. Car par définition, deux noeuds maîtres ne peuvent pas être dans la même portée l'un de l'autre et ne connaissent pas la distance entre eux. Pour ces deux raisons, les auteurs dans [ISI03] ont rajouté un autre noeud de frontière (par exemple le noeud « l »), en plus du noeud « j », pour obtenir les angles et les distances nécessaires pour calculer les paramètres de translation. Dans la section suivante, nous décrivons la procédure exacte pour obtenir ces paramètres.

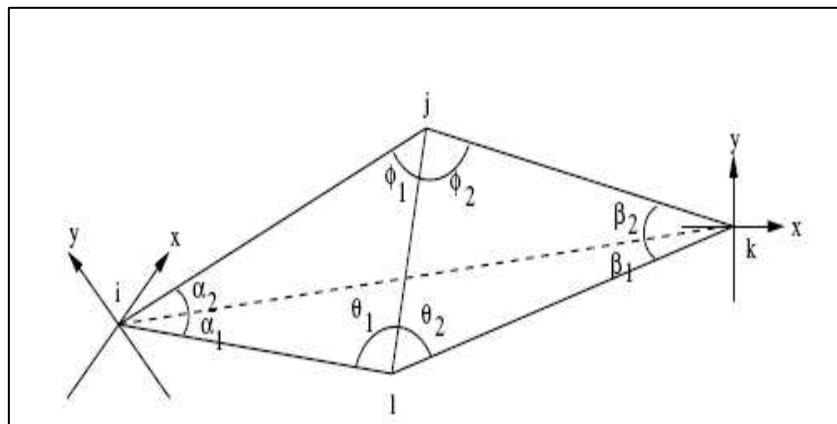


Figure 13 : Estimation de la distance d_{ik} par triangulation.

Comme indiqué dans la figure 13, les noeuds « i », « j », « k » et « l » forment un quadrilatère. La distance d_{ik} entre les noeuds « i » et « k » peut être obtenue par triangulation comme présentée dans la formule suivante.

$$d_{ik}^2 = d_{il}^2 + d_{lk}^2 - 2d_{il}d_{lk}\cos\theta \quad \text{Où } \theta = \theta_1 + \theta_2$$

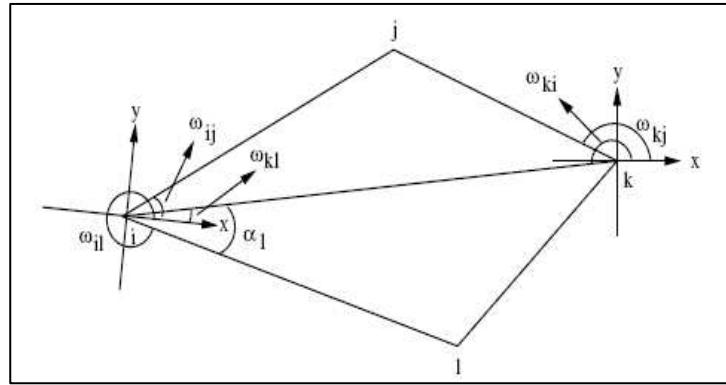
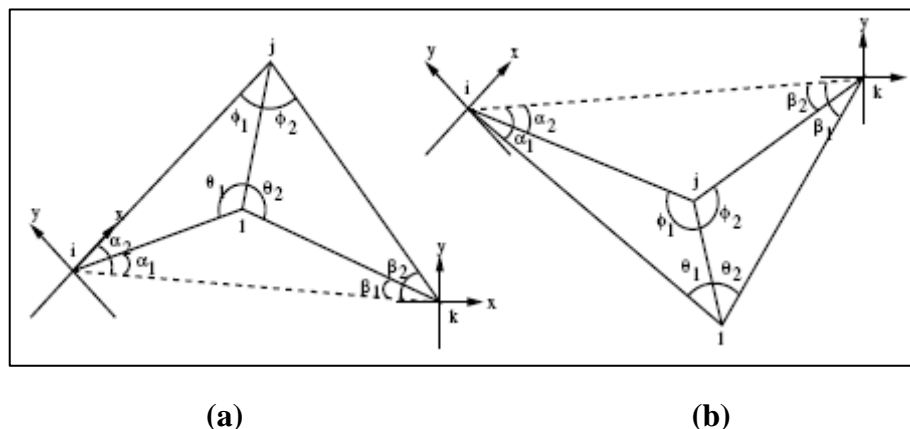


Figure 14 : Les angles des nœuds « j », « k » et « l » dans le système du nœud « i » et les angles des nœuds « j » et « i » dans le système du nœud « k »

Les calculs finaux pour la rotation du système de coordonnées du nœud « k » dépendent de l'angle ω_{ik} du vecteur \vec{ik} dans le système du nœud « i » (cf. Figure 14). L'angle ω_{ik} peut être obtenu en ajoutant ou en soustrayant α_1 de ω_{il} selon l'orientation du quadrilatère « ijkl ».



(a) (b)
Figure 15 : Les cas spéciaux de la formation du quadrilatère.

Si le nœud « l » forme les deux côtés inférieurs du quadrilatère (cf. Figure 15.b où $\phi_2 > \frac{\Pi}{2}$), Nous ajoutons α_1 tandis que pour le quadrilatère dans la figure 15.a, nous soustrayons α_1 . Donc l'angle ω_{ik} est donné par l'équation suivante :

$$\omega_{ik} = \begin{cases} (\omega_{il} + \alpha_1) \bmod(2\Pi) & \text{Si } \phi_2 > \frac{\Pi}{2} \\ (\omega_{il} - \alpha_1) \bmod(2\Pi) & \text{Sinon} \end{cases}$$

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

L'équation ci-dessus suppose que le noeud « i » est le noeud inférieur. Cependant, si le noeud « j » est le noeud inférieur, nous remplaçons ω_{il} par ω_{ij} et ϕ_2 par θ_2 dans l'équation. Des calculs semblables peuvent être aussi effectués pour déterminer ω_{ki} .

Pour que le noeud « k » oriente son système de coordonnées au système du noeud « i », les translations suivantes sont nécessaires :

$$\begin{array}{l} \text{Si } (\omega_{ij} - \omega_{ik}) < \Pi \text{ et } (\omega_{kj} - \omega_{ki}) < \Pi \\ \text{ou } (\omega_{ij} - \omega_{ik}) > \Pi \text{ et } (\omega_{kj} - \omega_{ki}) > \Pi \\ \Rightarrow \text{L'angle de correction} = \omega_{ki} + \omega_{ik} \\ \text{Si } (\omega_{ij} - \omega_{ik}) < \Pi \text{ et } (\omega_{kj} - \omega_{ki}) > \Pi \\ \text{ou } (\omega_{ij} - \omega_{ik}) > \Pi \text{ et } (\omega_{kj} - \omega_{ki}) < \Pi \\ \Rightarrow \text{Refléter le système.} \\ \Rightarrow \text{L'angle de correction} = \omega_{ki} - \omega_{ik} + \Pi \end{array}$$

Puisque les systèmes de coordonnées des noeuds « i » et « k » ont la même direction ainsi la direction et la longueur du vecteur \vec{ik} sont connues, les coordonnées de n'importe quel noeud « m » dans le domaine du noeud « k » peuvent être calculées simplement comme suit:

$$\vec{im} = \vec{ik} + \vec{km}$$

4. La localisation des noeuds dans les réseaux ad hoc de véhicules (VANet):

Comme nous avons vu dans le chapitre précédent, la localisation des noeuds de véhicules est un problème majeur qui doit être étudié et résolu. Pour cela, nous décrivons dans cette section les protocoles de localisation des noeuds qui ont été proposés pour les réseaux ad hoc de véhicules.

4.1. Protocole 1:

Dans [BEN05], A. Benslimane a proposé une nouvelle technique de localisation des noeuds. La solution proposée est basée sur la coopération entre les véhicules équipés de GPS pour aider les véhicules non équipés de GPS à obtenir leurs positions. Bien que la connaissance de la position

exacte ne soit pas toujours possible, le véhicule non équipé de GPS peut obtenir une certaine information utile comme la direction de conduite et la distance le séparant de l'accident.

4.1.1. Principe :

Dans certaines situations, les véhicules non équipés de GPS ne peuvent pas obtenir leurs positions précédentes et actuelles exactes. Cependant, ils peuvent obtenir quelques informations sur la direction de conduite et la distance de l'accident. Cela peut aider le conducteur à prendre des décisions. Par exemple, si l'accident se produit dans la direction opposée de conduite et dans une route séparées donc il n'y aura aucun besoin de freiner.

Pour obtenir et rafraîchir sa position, un véhicule non équipé de GPS, appelé « S », émet périodiquement un message « PREQ » de demande de position à ses voisins à un saut. Quand un véhicule équipé de GPS reçoit un message de type « PREQ », il crée un message « PREP » de réponse de position, inclut sa position actuelle et le renvoie à « S ». La connaissance de la position exacte du nœud « S » dépend du nombre et les positions (pas tout aligné) des voisins envoyant des messages de réponse « PREP ». Le nœud « S » peut calculer sa position exacte s'il reçoit au moins trois messages « PREP » de trois véhicules différents (cf. Figure 16).

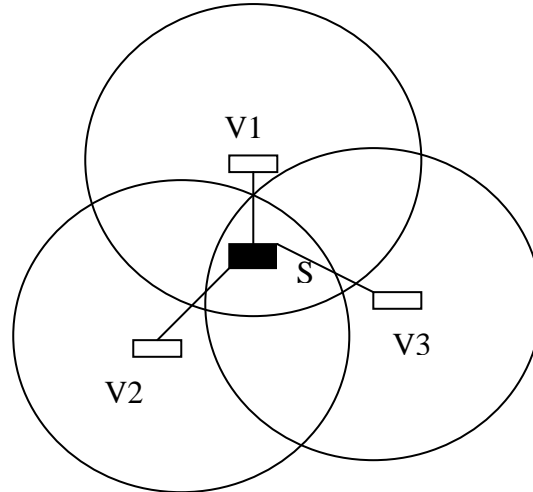


Figure 16 : Localisation en utilisant trois véhicules équipés de GPS.

Quand le nœud S (x, y) reçoit trois messages « PREP » de trois véhicules différents, appelés V1 (x_1, y_1), V2 (x_2, y_2) et V3 (x_3, y_3), il utilise la technique de puissance du signal (**RSSI**) pour déterminer les distances d_1 , d_2 et d_3 de V1, V2 et V3. Dans ce cas, la position exacte du nœud « S » peut être facilement calculée par *triangulation*.

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

Les véhicules non équipés de GPS utilisent des messages « PREP » pour obtenir leurs positions au lieu du satellite GPS. Cependant ce n'est pas toujours possible parce qu'il existe des cas, où le nombre de messages « PREP » est moins de trois, donc la position exacte ne peut pas être connue. Dans ce qui suit, nous présentons ces cas, quand « S » reçoit deux, un, ou zéro message « PREP ».

Le nœud « S » reçoit des réponses quand il se déplace d'une position appelée *position précédente* à une nouvelle position appelée *position actuelle*. Supposons que la position précédente du véhicule « S » était $S_p (x_p, y_p)$ et sa position actuelle est $S_c (x_c, y_c)$. Pour permettre le calcul de position et la direction de conduite de véhicules, A.Benslimane [BEN05] a distingué les situations suivantes :

Situation 1 :

Cette situation survient quand « S » avait trois voisins quand il était dans « S_p » et deux voisins dans « S_c » (cf. Figure 17). Dans cette situation, la valeur exacte de « S_c » peut être obtenue à l'aide de la distance « D » traversée par le véhicule « S » et les distances d_4 et d_5 .

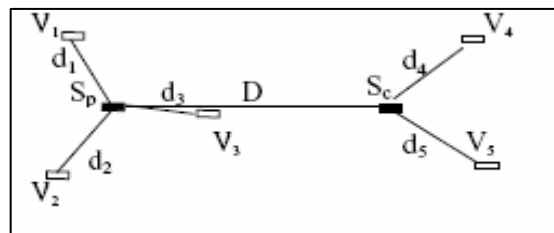


Figure 17 : Localisation d'un véhicule se déplaçant d'une position avec trois voisins équipés de GPS à une position avec deux voisins.

Situation 2 :

Cette situation survient quand « S » avait trois voisins quand il était dans « S_p » et un voisin dans « S_c ». Cette dernière est appelée la position manquante c'est l'intersection de deux cercles. Si cette intersection est dans un point, la valeur exacte de la position manquante « S_c » peut être calculée. Autrement, la position manquante peut être un des deux points de l'intersection des deux cercles. Par exemple, la valeur de « S_c » dans la figure 18 est l'intersection de deux cercles, le premier a « S_p » comme centre et « D » comme rayon et le deuxième a « V_4 » comme centre et « d_4 » comme rayon.

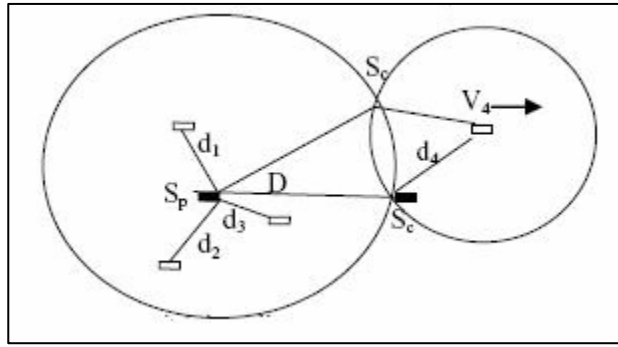


Figure 18 : Les deux valeurs possibles de « Sc » sont dans la même direction.

Dans autres cas, même quand on ne connaît pas précisément les valeurs exactes de positions précédentes ou actuelles, la direction de conduite du véhicule « S » peut être découverte. C'est le cas où les deux solutions possibles tombent dans la même direction de conduite (dans la Figure 18 les deux valeurs possibles de « Sc » sont dans la même direction de conduite avec le véhicule « V4 »).

Situation 3 :

Cette situation arrive quand « S » avait deux voisins quand il était dans « Sp » et deux voisins dans « Sc » (cf. Figure 19).

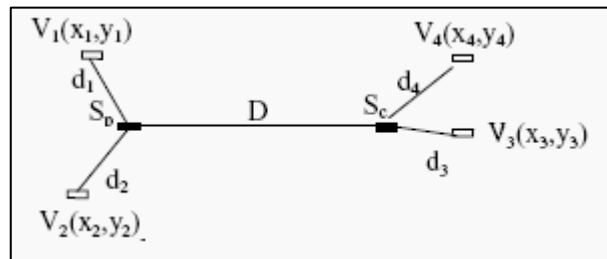


Figure 19 : Position exacte dans la situation 2-2.

La solution est donnée par le système d'équations suivant :

$$(x_p - x_1)^2 + (y_p - y_1)^2 = d_1^2 \quad (1)$$

$$(x_p - x_2)^2 + (y_p - y_2)^2 = d_2^2 \quad (2)$$

$$(x_c - x_3)^2 + (y_c - y_3)^2 = d_3^2 \quad (3)$$

$$(x_c - x_4)^2 + (y_c - y_4)^2 = d_4^2 \quad (4)$$

$$(x_c - x_p)^2 + (y_c - y_p)^2 = D^2 \quad (5)$$

Les équations (1) et (2) nous donnent deux valeurs possibles pour « Sp » et les équations (3) et (4) nous donnent deux valeurs pour « Sc ». L'équation (5) limite le nombre de solutions en éliminant les mauvaises solutions.

4.2. Protocole 2:

La solution proposée dans [KKK05] a pour but d'établir une carte précise des positions relatives de tous les véhicules voisins sans aucun GPS et d'acheminer les positions calculées en temps réel.

L'approche, comporte essentiellement l'intégration de la technique de *Clusterisation* (pour grouper divers véhicules dans un groupe et établir des associations Maître/Esclave) avec une des techniques basées sur la communication radio (pour déterminer des distances entre les paires des véhicules du groupe) et une technique d'établissement des coordonnées de positions (pour déterminer les coordonnées de positions relatives des véhicules du groupe).

4.2.1. La Clusterisation :

Les véhicules dans une région géographique donnée (de rayon ~ 150 m) choisissent un nombre aléatoire entre 1 à 100 et le diffusent. Le véhicule avec le nombre le plus élevé assure le rôle du maître et tous les autres véhicules dans le groupe deviennent des esclaves. Basé sur les nombres aléatoires associés aux véhicules esclaves, le véhicule maître établit alors l'ordre dans lequel les véhicules esclaves doivent accéder au canal sans fil pour des mesures de distances.

4.2.2. Le calcul des distances:

Ce processus comporte l'échange séquentiel des paquets de données entre toutes les paires de véhicule du groupe en utilisant des communications radio de véhicule à véhicule. D'abord, selon le nombre total de véhicules dans le groupe, tous les véhicules allouent la mémoire adéquate pour stocker les distances entre toutes les paires de véhicule. Ensuite, toutes les paires de véhicule déterminent leurs distances de séparation en utilisant une technique ou plus basées sur les communications radio, mettent à jour leurs tables de distance, et partagent cette information avec tous les autres véhicules du groupe.

4.2.3. Le calcul des positions:

Ayant établi les tables de distance, les véhicules maîtres utilisent ces tables de distance et une technique mathématique (cf. Figure 20) pour établir les coordonnées de position de tous les autres véhicules dans le groupe.

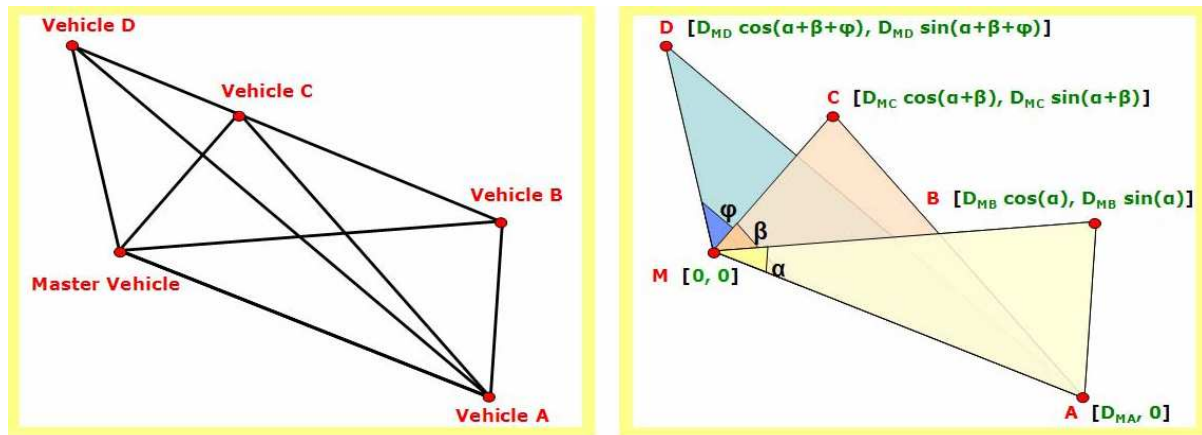


Figure 20 : Le calcul des positions relatives dans un groupe.

Les diverses étapes appliquées dans ce processus sont :

Etape 1: Maître $[0,0]$.

Etape 2: véhicule A $[D_{MA}, 0]$.

Etape 3: véhicule B $[D_{MB} \cos \alpha, D_{MB} \sin \alpha]$.

$$\text{Où : } \alpha = \arccos \left[\frac{(D_{MB}^2 + D_{MA}^2 - D_{AB}^2)}{(2 D_{MB} D_{MA})} \right]$$

Etape 4: véhicule C $[D_{MC} \cos(\alpha + \beta), D_{MC} \sin(\alpha + \beta)]$.

$$\text{Où : } \alpha + \beta = \arccos \left[\frac{(D_{MC}^2 + D_{MA}^2 - D_{AC}^2)}{(2 D_{MC} D_{MA})} \right]$$

Etape 5: véhicule D $[D_{MD} \cos(\alpha + \beta + \varphi), D_{MD} \sin(\alpha + \beta + \varphi)]$.

$$\text{Où : } \alpha + \beta + \varphi = \arccos \left[\frac{(D_{MD}^2 + D_{MA}^2 - D_{AD}^2)}{(2 D_{MD} D_{MA})} \right]$$

Comme nous avons vu dans cette solution, le but est d'établir une carte précise des positions relatives de tous les véhicules d'un groupe donné sans l'utilisation de n'importe quel GPS ou des systèmes dead reckoning. Diverses applications de sécurité, y compris l'application d'avertissement de collision, peuvent utiliser cette carte des positions relatives de véhicules et répéter fréquemment le processus entier en temps réel pour suivre à la trace le mouvement de véhicules.

4.3. Protocole 3:

Dans [PVA06], R.Parker et S.Valaee ont proposé un nouvel algorithme distribué qui a pour but d'évaluer la position des véhicules en réduisant le résiduel de la distance euclidienne entre les véhicules et leurs distances mesurées.

L'algorithme proposé travaille comme suit : Chaque noeud estime les distances aux véhicules voisins, utilisant une technique radio (par exemple. **RSSI**), partage ensuite cette information avec ses voisins à un saut. Basé sur cette information à un saut, chaque véhicule exécute une procédure pour créer une carte de positions relatives de ses voisins.

4.3.1. Principe :

Chaque véhicule construit son système de coordonnées local propre. Mettre lui comme le centre de son système de coordonnées propre avec la position (0,0). Alors son objectif est d'évaluer les coordonnées (x, y) relatives de tous ses voisins. Une fois que les positions de tous les véhicules sont évaluées, la configuration du réseau de véhicules est connue pour ce véhicule. L'algorithme proposé est décomposé en trois phases:

Phase 1 : Initialisation :

- Chaque véhicule mesure la distance le séparant de ses voisins. Il échange ensuite ces informations entre eux. Ce qui permet à chaque véhicule d'établir une matrice de mesures de distance concernant les voisins à un saut.
- Des évaluations initiales des coordonnées (x, y) relatives des voisins du véhicule sont faites. Ces évaluations initiales peuvent provenir d'un certain nombre de sources possibles : GPS; ou GPS utilisé en combinaison avec le système dead reckoning; ou l'utilisation de la distance inter-véhicules pour exécuter la *trilatération*.

Phase 2: Raffinement:

Chaque véhicule raffine les évaluations initiales pour fournir une évaluation finale de l'emplacement de ses voisins. L'objectif est de réduire au minimum les résiduels de la distance euclidienne entre les véhicules et la distance mesurée (notée $f_{i,j}$). $f_{i,j}$ Est donné par:

$$f_{i,j} = \hat{d}_{i,j} - \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \dots\dots\dots (1)$$

Où (x_i, y_i) et (x_j, y_j) sont les évaluations de l'emplacement des noeuds « i » et « j », respectivement et $\hat{d}_{i,j}$ est la distance mesurée entre le véhicule « i » et le véhicule « j ». En utilisant (1), chaque véhicule peut créer une matrice $n \times n$ (où n est le nombre de noeuds dans le cluster), qui prend la forme :

$$\begin{bmatrix} 0 & f_{1,2} & f_{1,3} & \cdots & f_{1,n} \\ f_{2,1} & 0 & f_{2,3} & \cdots & f_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ f_{n-1,1} & f_{n-1,2} & \cdots & 0 & f_{n-1,n} \\ f_{n,1} & f_{n,2} & \cdots & f_{n,n-1} & 0 \end{bmatrix}$$

Alors les évaluations de l'emplacement (x_i, y_i) sont choisies pour minimiser:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{i,j}^2 \dots\dots\dots (2)$$

Phase 3: Itération:

Dans les environnements mobiles, les phases « 1 » et « 2 » sont répétées chaque «T» secondes. La dernière position évaluée dans la phase « 2 » plus une correction basée sur quelques informations comme la distance traversée et la direction de conduite durant la dernière seconde « T » peuvent être utilisées lors de l'évaluation de la position initiale de l'intervalle suivant.

5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté quelques protocoles de localisation des nœuds qui ont été proposés pour assurer le service de localisation dans les réseaux mobiles et qui peuvent être appliqués dans les réseaux VANet. Cependant, il existe d'autres protocoles qui ont été développés dans la littérature.

Nous avons décrit leurs principales étapes et fonctionnalités afin de comprendre les stratégies et les techniques utilisées pour calculer les positions des nœuds. Les protocoles proposés sont généralement classés en trois catégories : (1) Tous les véhicules sont équipés de GPS, (2) Certains véhicules sont équipés de GPS, ou (3) Aucun véhicule n'a le GPS.

La troisième catégorie, où aucun véhicule n'a le GPS est clairement la plus stimulante et a été le centre principal de notre travail. Dans le chapitre suivant, nous proposons une nouvelle

Chapitre 3 : Les protocoles de localisation relative

solution du positionnement relatif des véhicules qui est complètement indépendante de GPS et qui peut être une amélioration des protocoles étudiés afin d'évaluer les positions des nœuds.

La conclusion générale qu'on peut tirer de l'étude des différents protocoles, est que la conception d'un nouveau protocole de localisation pour les réseaux ad hoc de véhicules doit tenir compte de tous les facteurs et les limitations physiques imposées par l'environnement notamment pendant les services de sécurité.

Chapitre 4

Notre approche de localisation

1. Introduction :

La conception d'une solution pour l'évaluation précise des positions relatives des véhicules voisins basée sur l'échange en temps réel des coordonnées utilisant des communications radio de véhicule à véhicule est une tâche stimulante. En raison de la deuxième condition de latence dans l'application d'avertissement coopératif de collision, la solution proposée devrait non seulement être capable d'établir exactement les positions relatives de tous les véhicules voisins en temps réel, mais suivre aussi continuellement à la trace le mouvement des autres véhicules voisins.

Les protocoles de localisation des nœuds peuvent être exécutés dans trois environnements différents : (1) Tous les véhicules sont équipés de GPS, (2) Certains véhicules sont équipés de GPS, ou (3) Aucun véhicule n'a le GPS. Ce dernier est clairement le plus important et le plus général.

Après une étude sur différents protocoles de localisation des nœuds existants dans les réseaux VANet, nous nous sommes intéressés dans ce chapitre à proposer une nouvelle méthode qui est adaptée à ce genre de réseaux.

2. Principe :

La solution proposée dans notre travail a pour but d'établir une carte précise des positions relatives de tous les nœuds de véhicules dans le réseau. Elle est basée essentiellement sur une technique de *clusterisation* (pour grouper les véhicules et choisir des véhicules pour être clusterhead) et une technique d'établissement des positions relatives des nœuds voisins (où chaque clusterhead établit son système de coordonnées de tous ses voisins dans le groupe) basée sur les distances mesurées entre les véhicules. Les distances entre les véhicules sont calculées en utilisant la technique de puissance du signal « *RSSI* ».

Notre solution peut être exécutée en trois phases :

Phase 1 : On sélectionne le premier clusterhead et on calcule les positions relatives de tous ses voisins dans le groupe.

Phase 2 : Dans cette étape et selon le premier clusterhead sélectionné dans l'étape précédente, on choisit les autres clusterheads (CHs) et pour chacun de ces CHs on calcule son système de coordonnées.

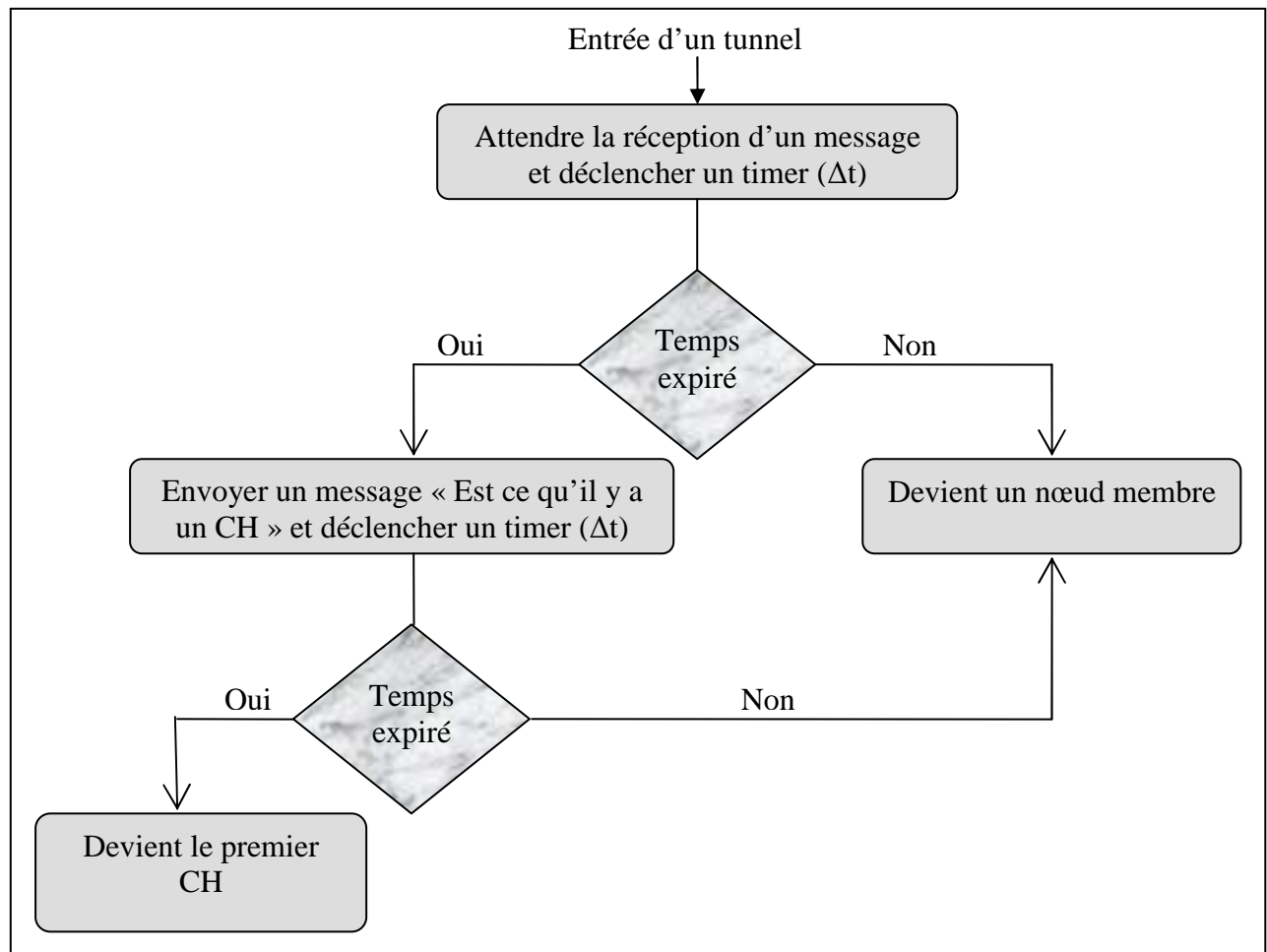
Puisque les nœuds dans VANet sont mobiles, donc les phase 1 et 2 sont répétées chaque « T » seconds.

Phase 3 : Cette phase est exécutée seulement dans le cas du changement de clusterhead c'est-à-dire dans le cas où ce dernier tombe en panne ou quitte l'environnement.

2.1. Sélection du premier clusterhead:

Pour sélectionner le premier véhicule « **M** » qui va jouer le rôle de centre du réseau, chaque véhicule qui rentre dans un tunnel, il attend une certaine période (Δt) qui est égale au temps nécessaire pour envoyer un message de mise à jour. Si pendant cette période il reçoit un message de réponse d'un clusterhead ; alors, il devient un nœud membre de ce dernier; sinon, il envoie un message pour dire est ce qu'il y a un clusterhead dans les environs, si aucune réponse n'est reçue pendant la durée (Δt), ce dernier envoie un message pour dire je suis le premier clusterhead. Le véhicule sélectionné dans cette phase devient le centre du réseau avec la position (0,0) et les positions de tous les autres véhicules dans le réseau sont calculées à partir de cette sélection.

On peut présenter cette phase par l'organigramme suivant :



Calcul des positions des véhicules voisins du « M » :

Pour calculer les positions des véhicules voisins du véhicule « **M** », on choisit deux véhicules $A, B \in V_M$ (où V_M est l'ensemble des véhicules voisins de « **M** » dans un groupe de rayon $R=300m$) tels que :

- La distance « d_{AB} » entre les deux véhicules « **A** » et « **B** » est connue. (c'est-à-dire $A \in V_B$ et $B \in V_A$) : Les voisins peuvent être détectés à l'aide de l'envoi périodique des messages « balises », et en utilisant ces derniers on peut calculer les distances entre les véhicules avec l'utilisation de la technique **RSSI**.
- Le nœud « **A** » se trouve sur l'axe des abscisses (X).
- Le nœud « **B** » a une composante « B_y » positive (cf. Figure 21).
- Les nœuds « **M** », « **A** » et « **B** » ne se trouvent pas sur la même ligne.

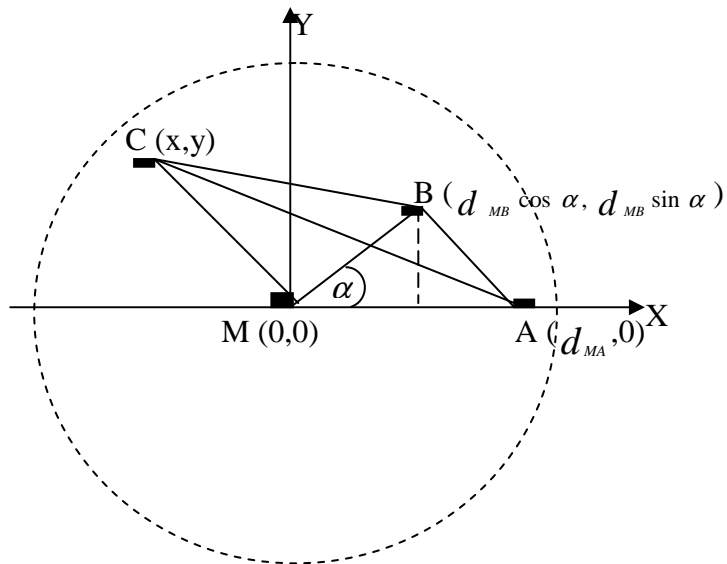


Figure 21 : Le calcul des positions des véhicules voisins du véhicule « M ».

Donc, on obtient les positions des nœuds « M », « A » et « B » comme suit :

$$M_x = 0; M_y = 0$$

$$A_x = d_{MA}; A_y = 0$$

$$B_x = d_{MB} \cos \alpha; B_y = d_{MB} \sin \alpha$$

Où « α » est l'angle \widehat{AMB} et il est calculé par la formule suivante :

$$\alpha = \arccos \frac{d_{MB}^2 + d_{MA}^2 - d_{AB}^2}{2 d_{MB} d_{MA}}$$

Pour calculer les positions des autres véhicules voisins du « M » ($\forall C \in V_M$ et $C \neq A$ et B) pour lesquels on connaît les distances d_{MC} , d_{AC} et d_{BC} (ou $C \in V_A \cap V_B$), on utilise la technique de *trilatération*. Donc, nous obtenons les équations suivantes :

$$x^2 + y^2 = d_{MC}^2 \dots\dots\dots(1)$$

$$(d_{MA} - x)^2 + y^2 = d_{AC}^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$(d_{MB} \cos \alpha - x)^2 + (d_{MB} \sin \alpha - y)^2 = d_{BC}^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$(1) \Rightarrow y^2 = d_{MC}^2 - x^2 \dots\dots\dots(4)$$

$$(2) \text{ et } (4) \Rightarrow (d_{MA} - x)^2 + (d_{MC}^2 - x^2) = d_{AC}^2$$

$$\Rightarrow x = \frac{d_{MA}^2 + d_{MC}^2 - d_{AC}^2}{2d_{MA}} \dots\dots\dots (5)$$

$$(3) \Rightarrow d_{MB}^2 + x^2 + y^2 - 2x x_B - 2y y_B = d_{BC}^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$(1) \text{ et } (6) \Rightarrow y_C = \frac{d_{MC}^2 + d_{MB}^2 - d_{BC}^2 - 2x_C x_B}{2y_B}$$

Donc, les positions de tous les autres véhicules voisins ($\forall C \in V_M$ et $C \neq A$ et B) du véhicule « **M** » sont:

$$x_c = \frac{d_{MA}^2 + d_{MC}^2 - d_{AC}^2}{2d_{MA}}$$

$$y_c = \frac{d_{MC}^2 + d_{MB}^2 - d_{BC}^2 - 2x_C x_B}{2y_B}$$

Les calculs ci-dessus, montrent comment on peut calculer la position d'un véhicule « C » qui est un voisin des véhicules « A » et « B ». Si le véhicule « C » n'est pas un voisin de « A » ou de « B », on peut calculer sa position en utilisant la position du véhicule « M » et au moins deux autres véhicules pour lesquels leurs positions sont déjà calculées.

2.2. Sélection des autres clusterhead (successeurs et prédécesseurs):

Une fois que le véhicule « **M** » qui est le centre du réseau construit son système de coordonnées et calcule les positions de tous ses voisins dans le groupe, il va sélectionner les deux véhicules maîtres (CHs) qui sont parmi les véhicules voisins de « **M** ». Le premier véhicule « M^{+1} » est au niveau supérieur du véhicule « **M** » et le deuxième véhicule « M^{-1} » est au niveau inférieur du « **M** ». (cf. Figure 22)

Les deux véhicules « M^{+1} » et « M^{-1} » sont sélectionnés tels qu'ils vérifient les conditions suivantes :

- $y_{M^{+1}} = \text{MAX } y_v \text{ et } D_{MV} \leq 250m, \forall V \in V_M.$
- $y_{M^{-1}} = \text{MIN } y_v \text{ et } D_{MV} \leq 250m, \forall V \in V_M.$

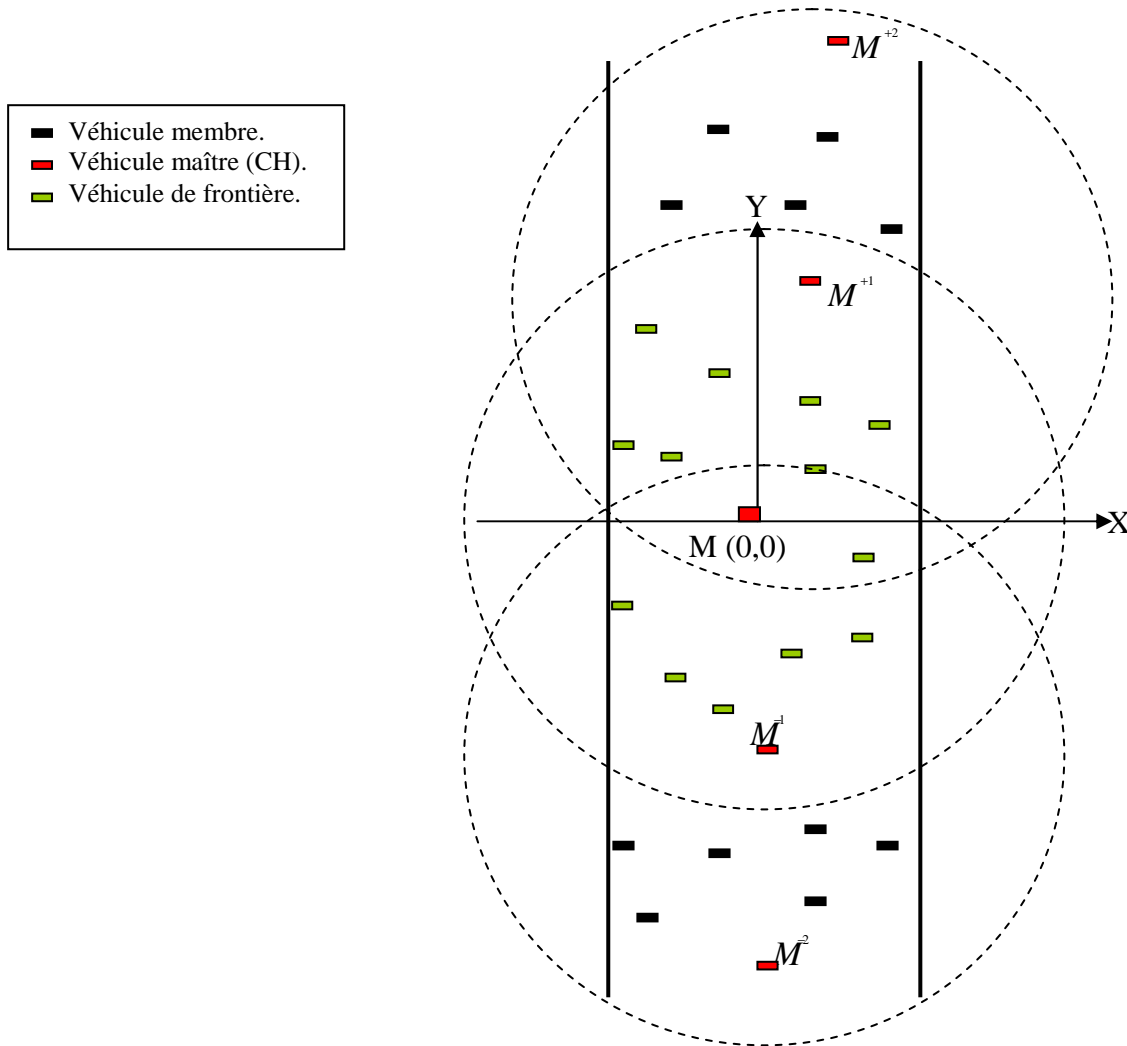


Figure 22 : La sélection des véhicules maîtres (CHs).

Une fois les deux véhicules maîtres « M^{+1} » et « M^{-1} » sélectionnés, chacun deux calcule les positions de leurs voisins.

Puisque la position du véhicule « M^{+1} » (respectivement « M^{-1} ») est déjà calculée par le véhicule « M ». Donc, pour calculer les positions des véhicules voisins de « M^{+1} » (respectivement « M^{-1} ») on utilise la position de ce dernier et au moins les positions des deux véhicules de frontière entre « M » et « M^{+1} » (respectivement entre « M » et « M^{-1} ») et cela pour pouvoir appliquer la technique de trilatération. Un véhicule « V » est un véhicule de frontière entre « M » et « M^{+1} » si et seulement si $V \in (V_M \cap V_{M^{+1}})$.

Finalement, pour calculer les positions de tous les véhicules dans le réseau, le véhicule « M^{+1} » (respectivement « M^{-1} ») va sélectionner son successeur « M^{+2} » (respectivement son prédécesseur « M^{-2} ») (cf. Figure 22). La procédure sera répétée jusqu'à quitter l'environnement sans GPS.

2.3. Maintenance:

On peut diviser cette phase en plusieurs cas différents :

- Dès que le premier clusterhead (c'est-à-dire le nœud M) reçoit l'information GPS pendant un intervalle de temps « T »; il sait qu'il a quitté l'environnement sans GPS. Donc, il doit envoyer un message pour dire que j'ai quitté le tunnel (ou la forêt). À la réception de ce message, le clusterhead précédent (c'est-à-dire M^{-1}) va prendre le rôle du premier clusterhead. Donc, l'avantage est que le système de localisation sera limité dans l'espace c'est-à-dire dans la longueur d'un tunnel ou l'étendue d'une forêt.
- En cas d'arrêt (ou freinage) du premier clusterhead, ce dernier doit envoyer un message aux deux clusterhead voisins (c'est-à-dire M^{-1} et M^{+1}). À la réception de ce message, chacun de ces derniers commence à décrémenter un temporisateur aléatoire. Le nœud qui voit son temporisateur expirer le premier devient le nouveau centre du réseau.
- Dans le cas, où les nœuds voisins du premier clusterhead ne reçoivent pas un message de mise à jour (ou message de position) pendant deux intervalles de temps successifs, alors ils savent que le premier clusterhead est tombé en panne. Donc, on doit choisir un autre clusterhead parmi les deux nœuds voisins M^{-1} et M^{+1} .

3. Étude comparative et synthèse :

Comme nous avons vu, tous les protocoles et les techniques présentés dans le troisième chapitre ont pour but d'établir les positions des nœuds mobiles. Après avoir étudié tous ces protocoles et notre technique de localisation, nous pouvons faire une synthèse où nous présentons les avantages et les inconvénients de chaque technique :

- Le protocole proposé dans [CHH02] comprend deux étapes ; à savoir l'établissement des systèmes des coordonnées locales et l'établissement du système des coordonnées globales.

Pour l'établissement des systèmes des coordonnées locales, chaque nœud « i » dans le réseau devient le centre de son système de coordonnées avec la position $(0,0)$.

Comme nous l'avons vu, pour calculer la position d'un nœud qui est un voisin du nœud « i », la technique proposée compare les valeurs de deux angles qui sont calculés à partir des mesures de distance. Les valeurs des angles ne seront jamais exactes à cause des erreurs dans les mesures de distances. Donc, cette technique de localisation ne donne pas des positions exactes.

Nous remarquons aussi que la phase d'établissement du système des coordonnées globales demande plusieurs calculs pour que tous les nœuds ajustent leurs systèmes de coordonnées locales par rapport à un seul nœud dans le réseau. Donc, cette phase demande l'échange de plusieurs messages et par conséquent, le temps de calcul des coordonnées des nœuds devient très important.

- Dans [ISI03], les auteurs ont proposé un nouvel algorithme de localisation distribué et scalable pour les réseaux de capteurs sans fil. Cet algorithme est une amélioration de l'algorithme présenté dans [CHH02] en terme du nombre de messages envoyés et du temps de calcul des coordonnées des nœuds.

Pour garder le système scalable à mesure que le nombre de nœuds augmente, ils ont exigé la formation du système des coordonnées locales limité seulement à sous-ensemble réduit de nœuds qui forment les nœuds maîtres (ou les clusterhead). L'établissement des systèmes des coordonnées locales est basé sur la triangulation comme proposée dans [CHH02] où les angles ne sont jamais égaux à cause des erreurs dans les mesures des distances. Donc, cette technique donne aussi des valeurs des coordonnées qui ne sont pas exactes.

Par contre, la phase d'établissement du système des coordonnées globales nécessite moins de calculs que la technique précédente, parce que seulement les nœuds maîtres orientent leurs systèmes de coordonnées locales et non pas tous les nœuds dans le réseau. Donc, cette technique nécessite moins de messages envoyés et par conséquent le temps de calcul des coordonnées sera moins important.

- Dans [BEN05], l'auteur a proposé une nouvelle technique de localisation des véhicules. Cette technique est basée sur la coopération entre les véhicules équipés de GPS pour aider les véhicules non équipés de GPS à obtenir leurs positions.

Dans cette technique, la position exacte d'un véhicule non équipé de GPS dépend du nombre des voisins. Le nœud non équipé de GPS peut calculer sa position exacte s'il reçoit au moins trois messages de position de trois véhicules différents. Cela n'est pas toujours possible, parce qu'il existe des situations où le nombre de véhicules voisins avec position est moins de trois, donc la position exacte ne sera pas toujours connue.

Dans le cas où le nombre des véhicules voisins avec positions est moins de trois, l'auteur a montré des situations où le véhicule non équipé de GPS peut obtenir une certaine information utile comme la direction de conduite.

- Dans [KKK05], les auteurs ont proposé une nouvelle technique pour établir les positions relatives des véhicules voisins en l'absence totale des informations GPS.

Comme nous avons vu, cette technique est basée sur les mesures des angles pour calculer les positions des nœuds.

L'inconvénient majeur de cette technique est qu'elle ne permet pas de déterminer la direction de l'angle, elle permet juste de déterminer la valeur de l'angle ce qui donne des coordonnées « y » toujours positives, qui ne reflètent pas la réalité.

En plus, la technique proposée permet d'établir seulement les systèmes des coordonnées locales de chaque nœud maître et ne permet pas d'établir le système de positionnement global de tout le réseau qui donne les positions de tous les nœuds par rapport à un seul nœud dans le réseau.

- Dans [PVA06], les auteurs ont proposé un nouveau protocole distribué dans le but de corriger les positions qui peuvent provenir d'un certain nombre de sources : GPS, ou le système Dead Reackoning ou l'utilisation de la distance inter-véhicules pour exécuter la trilatération.

Après l'étude de ce protocole, on peut le classer parmi les protocoles de correction des positions des véhicules et non pas parmi les protocoles de localisation. C'est-à-dire on peut l'appliquer avec n'importe quel autre protocole de localisation.

Après avoir présenté les avantages et les inconvénients des différents protocoles de localisation, nous pouvons faire une comparaison de ces protocoles avec notre technique en se basant sur des critères différents à savoir : la scalabilité, le nombre de messages envoyés, le temps de calcul des coordonnées, la maintenance, l'utilisation de l'information GPS et l'exactitude des positions calculées.

Chapitre 4 : Notre approche de localisation

	[CHH02]	[ISI03]	[BEN05]	[KKK05]	[PVA06]	Notre approche
Scalabilité	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
Nombre de messages	Elevé	Moyen	Réduit	Réduit	Elevé	Réduit
Temps de calcul des coordonnées	Elevé	Moyen	Réduit	Réduit	Elevé	Réduit
Maintenance	Oui	Oui	-----	Non	-----	Oui
Information GPS	Non	Non	Partielle	Non	Non	Non
Erreur dans les positions	Moyenne	Moyenne	Négligeable	Moyenne	-----	Négligeable

4. Conclusion :

D'après le tableau ci-dessus, nous pouvons dire que notre nouvelle technique a évité également les inconvénients des techniques existantes, où elle permet de réduire le nombre de messages envoyés, par conséquent, elle permet de réduire le temps de calculs des coordonnées. Elle permet aussi de maintenir le système en cas de défaillance du premier clusterhead et de minimiser l'erreur moyenne dans les calculs des positions des nœuds. Donc, nous pouvons dire que les performances de notre technique sont très satisfaites et on peut l'utilisée dans les protocoles et les applications de VANet qui exigent la localisation des véhicules.

Chapitre 5

Simulation et analyses

1. Introduction :

La simulation connaît de nos jours un essor considérable. Ceci est dû aussi bien à l'intérêt théorique que présente la modélisation des systèmes simulés, que par les besoins croissants de simuler par ordinateur des réalisations de plus en plus complexes.

La simulation joue aussi un rôle important en mettant à la disposition de l'utilisateur un environnement d'expérimentation où on peut faire varier plusieurs paramètres.

Pour évaluer les performances de notre nouvelle technique nous avons effectué des simulations avec le simulateur NS-2 (Network Simulator) et le modèle de mobilité Freeway.

Ce chapitre est composé, principalement, des parties suivantes : une présentation globale sur le simulateur NS-2 et le modèle de mobilité utilisé dans notre travail. En suite, nous présenterons les paramètres et les métriques utilisés pour l'évaluation de la solution proposée. Nous terminerons par l'analyse des résultats obtenus à l'issue de cette simulation.

2. Network Simulator 2 :

2.1. Introduction :

NS-2 (Network Simulator 2) est un environnement de simulation pour les réseaux sans fil et filaires. Il a été conçu à l'université UC Berkely (L'université de Californie à Berkeley). Il a été considérablement utilisé et amélioré au cours des dernières années par de nombreux chercheurs. Il en est actuellement à sa version 2 (créé en 1995) [AHO99].

Il utilise le langage OTCL (Object Tools Command Language), dérivé objet de TCL. À travers ce langage, l'utilisateur décrit les conditions de la simulation : topologie du réseau, caractéristiques des liens physiques, protocoles utilisés, communication...etc. La simulation doit d'abord être saisie sous forme de fichier texte que NS utilise pour produire un fichier trace contenant les résultats.

2.2. Définition :

Le NS-2 est un simulateur entraîné par les événements de réseau. Il simule la variété de réseaux IP et met en application des protocoles de réseau tels que le TCP et l'UDP, le comportement de source du trafic tel que le ftp, le telnet, le Web, le CBR et le mécanisme de gestion de file d'attente de routeur.

NS-2 est écrit en C++ avec une interface textuelle (ou shell) qui utilise le langage OTCL. Le langage C++ sert à décrire le fonctionnement interne des composants de la simulation. Pour reprendre la terminologie objet, il sert à définir les classes [AHO99].

Les principales classes utilisables pour définir l'architecture et la topologie du modèle sont les suivantes :

a. Nœuds :

Les nœuds représentent les différentes machines du réseau, qui peuvent être des postes fixes, des routeurs, des nœuds mobiles, ...etc. et se créent en tapant :
set n0 [\$ns node] (pour Créer un nœud « n0 »).

b. Lien :

Le lien est un autre composant principal du réseau sert à relier les noeuds. Il modélise le système de transmission. Le lien est principalement caractérisé par un délai de propagation et une bande passante. C'est une classe OTCL qui regroupe un ensemble de composants.

c. Agent :

Les agents représentent des points terminaux où les paquets de la couche réseau sont produits ou consommés. Cette classe est à la fois dans l'interpréteur et dans le simulateur. C'est la classe de base pour définir des nouveaux protocoles dans NS. Elle fournit l'adresse locale et celle de destination et les fonctions pour générer les paquets. Actuellement NS comporte de nombreux agents citons: UDP, protocoles de routage, différentes versions de TCP, RTP, etc.

2.3. Éléments de la simulation :

a. Simulateur :

La simulation est configurée, contrôlée et exploitée via l'interface fournie par la classe OTCL Simulator. Elle n'existe que dans l'interpréteur. Un script de simulation commence toujours par créer une instance de cette classe par la commande:

```
set ns_ [new Simulator]
```

b. Ordonnanceur (scheduler) :

L'ordonnanceur est défini dans le fichier scheduler.{h,cc}. L'Ordonnanceur a en charge de choisir l'événement le plus proche en terme de temps, d'exécuter les traitements, de faire progresser le temps de simulation et d'avancer à l'événement suivant etc. Un seul événement est traité à la fois. Si plusieurs événements doivent être traités au même instant. Ils sont exécutés en série mais au même instant en terme de temps simulé.

c. Consommation de temps :

Aucun objet dans la simulation ne peut faire avancer le temps. Pour consommer du temps, il faut obligatoirement passer par l'ordonnanceur.

d. Traitement séquentiel en temps simulé :

Le temps de simulation est découplé du temps réel. Si aucun objet ne fait de consommation de temps, vis à vis du temps simulé tous les traitements se font en même temps (mais par rapport au temps réel ils sont exécutés en série). Un simulateur est naturellement une machine pseudo-parallèle [AHO99].

3. Générateur des modèles de mobilité : IMPORTANT

Le modèle de mobilité est un facteur très important pour déterminer la performance d'un protocole dans les réseaux mobiles. Le modèle RWP (Random WayPoint) est le plus utilisé dans les simulations des MANet [YLN03]. Le noeud mobile utilisant ce modèle se déplace vers une destination avec une vitesse aléatoire sélectionnée entre $[0, V_{Max}]$ où V_{Max} est la vitesse maximale. Lorsque le noeud atteint sa destination, il marque un temps de pause, puis, il reprend son déplacement, jusqu'à la fin de la simulation.

Dans les VANet, les noeuds mobiles (les véhicules) ne se déplacent pas d'une façon aléatoire, mais, en suivant des routes unidimensionnelles ce qui, fait que le modèle RWP n'est pas approprié pour ce type de réseau. Pour cela, un modèle alternatif pour les VANET est nécessaire afin que les simulations dans ce type de réseau soient réalistes. Une équipe de recherche de l'université USC (Université of Southern California) a proposé un générateur de mobilité pour les VANet appelé IMPORTANT [HSA05]. C'était dans le cadre du projet MARMALADeS [MOB05] (Multicast and Resource Management for Large-Scale Ad-hoc and Sensor Networks), son code source est téléchargeable depuis le site web du projet [IMP09], Ce générateur est capable de générer beaucoup de modèles pour les VANet comme les modèles Freeway et Manhattan.

4. Modèle de mobilité utilisé (Freeway):

Le modèle Freeway est l'un des modèles qui peut être généré par IMPORTANT, il simule le comportement de mouvement des nœuds véhicules sur une autoroute. Il peut être aussi utilisé dans l'échange de trafic ou dans le suivi d'un véhicule sur une autoroute.

Dans ce modèle, nous utilisons des cartes qui comportent généralement plusieurs autoroutes et chaque autoroute se compose d'une ou plusieurs voies dans les deux directions.

Les différences entre le modèle de mobilité Freeway et les modèles aléatoires sont les suivantes :

- Chaque véhicule est restreint par sa voie de l'autoroute et il ne peut pas la changer durant la simulation.
- La vitesse du véhicule (à l'instant $t+1$) dépend temporellement de sa vitesse précédente (à l'instant t) selon la formule suivante :

$$\text{vitesse}_i(t+1) = \text{vitesse}_i(t) + \text{random}() * \text{accélération}_i(t).$$

- Une distance de sécurité (d) est maintenue pour qu'aucun véhicule ne puisse dépasser la vitesse de celui qui le précède, cette distance est définie comme suit :
Si $\text{distance}_{i,j}(t) < d \Rightarrow \text{vitesse}_i(t) < \text{vitesse}_j(t)$, Si j est avant i dans sa voie.

En raison de ces caractéristiques, le modèle de mobilité Freeway assure une dépendance spatiale et une haute dépendance temporelle. Il impose également des restrictions géographiques strictes sur le mouvement des nœuds en ne permettant pas à un nœud de changer sa voie.

4.1. Les étapes de création d'un fichier de mobilité :

Une fois le programme freeway.ccp est compilé et exécuté, il demande à l'utilisateur d'entrer les informations suivantes :

- Le nombre de véhicules participant à la simulation.
- L'accélération de la vitesse des véhicules (par exemple si cette valeur est égale à 10% de la vitesse, donc: l'accélération = $\text{vitesse_Max} * 0.1$).
- Le chemin du fichier qui décrit la carte de l'autoroute (voir l'annexe pour le format de ce fichier). Donc, c'est un fichier d'entrée pour le générateur IMPORTANT.
- Le chemin du fichier qui va être créé pour contenir le modèle de mobilité, ce fichier va être utilisé par NS-2 (voir l'annexe pour le format du fichier de mobilité). Donc, ce fichier est un fichier de sortie pour IMPORTANT et un fichier d'entrée pour NS-2.

5. Métriques d'évaluations :

Les scénarios de simulation que nous avons utilisés, nous ont permis de proposer et d'utiliser des métriques importantes pour l'évaluation de performances de notre solution:

5.1. Erreur moyenne en mètre (EM):

Cette métrique désigne l'erreur moyenne entre les positions réelles fournies par NS-2 et les positions calculées par notre approche. Cette métrique est calculée selon la formule suivante :

$$EM = \frac{\sum_{i=1}^k \text{erreur}_i}{k} \text{ et}$$
$$\text{erreur}_i = |D_{Mi} - D'_{Mi}|$$

K : Le nombre de nœuds dans le réseau.

D_{Mi} : La distance entre le nœud « M » et le nœud « i » avec l'utilisation de leurs positions réelles.

D'_{Mi} : La distance entre le nœud « M » et le nœud « i » avec l'utilisation de leurs positions calculées par notre approche.

5.2. Taux des nœuds localisés (TNL):

Cette métrique désigne le pourcentage de nœuds pour lesquels les positions ont été calculées avec notre approche. Cette métrique est calculée selon la formule suivante :

$$\text{TNL} = \frac{\text{NP} \times 100}{N}$$

NP : Le nombre de nœuds pour lesquels leurs positions ont été calculées avec notre approche.

N : Le nombre de nœuds dans le réseau.

5.3. Nombre de messages envoyés (NME) :

Cette métrique définit le nombre de messages nécessaires pour calculer les positions des nœuds. Cette métrique est calculée en utilisant la formule suivante :

$$\sum_{i=1}^k \text{Nbr}_i$$

Nbr_i : Le nombre de messages envoyés par le nœud « i ».

6. Paramètres de simulation :

Nous avons évalué les performances de notre nouvelle technique proposée dans différentes configurations : différents nombres de nœuds dans le réseau (20, 30, 40, 50,...100) et différentes vitesses.

Durant les simulations, nous avons utilisé deux valeurs de mobilité. La première est la mobilité faible avec une vitesse entre 10 km/h et 50 km/h. La deuxième est une mobilité assez forte avec une vitesse entre 80 km/h et 140 km/h.

Le tableau suivant résume la configuration de notre simulation et les paramètres utilisés :

Nombre de nœuds	20, 30, 40,.....100
Vitesse de déplacement MIN-MAX	20-40, 40-60,....100-120
Mobilité du réseau [Faible, Forte]	[10-50, 80-140] km/h
Longueur de l'autoroute	1 km
Nombre de voies	2
Portée de transmission	300 m
Modèle de mobilité	Freeway
Modèle de propagation	FREE-SPACE
Protocole de la couche MAC	802.11

Tableau 1. Paramètres de simulation.

7. Résultats et analyses :

7.1. Taux des nœuds localisés (TNL):

Afin d'évaluer notre solution en terme de nombre de nœuds qu'on a pu calculer leurs positions, nous avons fait varier le nombre de nœuds de 20 à 100, et, nous avons obtenu les résultats graphiques ci-dessous :

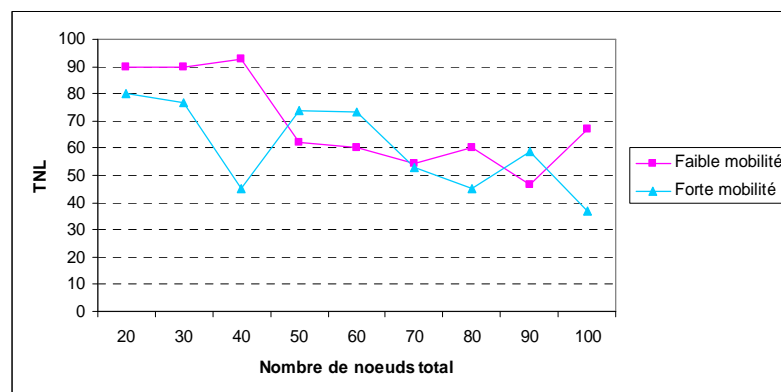


Figure 23 : Taux des nœuds localisés en fonction du nombre de nœuds

La figure 23 illustre pour les deux cas de mobilité (faible et forte) que le taux des nœuds localisés (TNL) est lié aux nombres de nœuds dans le réseau.

Pour un nombre de nœuds qui varie entre 20 et 50 et avec une mobilité faible, nous remarquons que le taux des nœuds localisés augmente à l'augmentation du nombre de nœuds. Ceci est dû à la vitesse basse des véhicules. Donc, les véhicules restent un certain temps dans le domaine du clusterhead. Par conséquent, ce dernier peut calculer leurs positions dans cette période de déplacement dans son groupe.

Par contre, dans le cas de forte mobilité, la réussite pour calculer les positions n'est pas la même, elle est moins bonne et cela à cause de la vitesse des véhicules qui est un peu élevée. Donc, le clusterhead va perdre ses membres rapidement dans les itérations suivantes. Ce qui va diminuer le taux des nœuds localisés. Mais cela, n'empêche pas qu'il y aient des points où on trouve le contraire. Par exemple, quand le nombre de nœuds varie entre 50 et 60 le taux de réussite est meilleur qu'un réseau de faible mobilité. On peut expliquer ça, par le déplacement rapide des véhicules qui permet à ces derniers d'entrer dans un autre domaine. Par conséquent, le nouveau clusterhead peut calculer leurs positions.

7.2. Erreur moyenne en mètre (EM):

L'analyse des courbes représentées sur la Figure 24, montre bien que le taux des nœuds localisés a une influence sur l'erreur moyenne et ceci pour les deux valeurs de mobilité. Quand le taux des nœuds localisés augmente (décroît) alors l'erreur moyenne augmente (décroît) aussi ce qui est normal (cf. Figure 23 et 24).

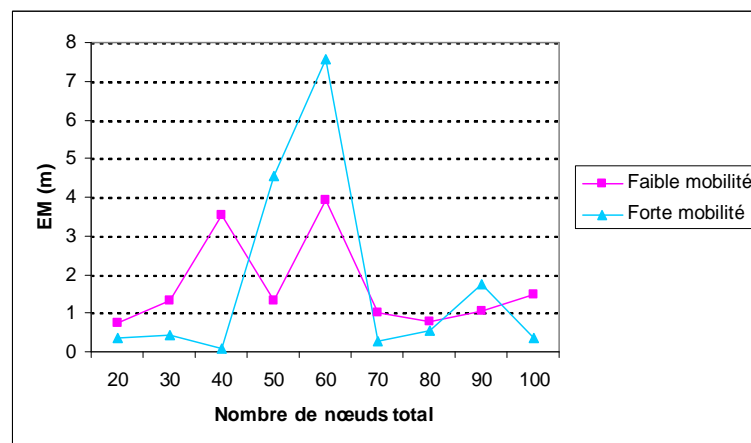


Figure 24 : Erreur moyenne en fonction du nombre de noeuds

Dans le cas de faible mobilité, le taux des nœuds localisés a atteint 92,5% avec une erreur qui ne dépasse pas 4m. Par contre, dans le cas de forte mobilité ; le taux des nœuds localisés a atteint 73,33% avec une erreur $\cong 8m$. Ceci s'explique par le fait que dans le cas de forte mobilité, quand le clusterhead est entrain de calculer la position d'un véhicule, ce dernier est entrain de se déplacer rapidement. Donc, si on compare la position calculée par le clusterhead et la position réelle on trouve une erreur dans sa valeur est proportionnelle à la vitesse. Par contre, dans le cas de faible mobilité les véhicules se déplacent avec une vitesse moyenne qui permet de diminuer l'erreur moyenne.

7.3. Nombre de messages envoyés (NME) :

Le nombre de messages échangés est un paramètre important qui permet de déterminer les performances d'un protocole. Pour cela, on a mesuré ce paramètre dans les différents scénarios de simulation.

Les courbes de la figure 25 montrent pour les deux cas de mobilité que le nombre de messages envoyés augmente à l'augmentation du nombre total de nœuds, ce qui confirme le bon fonctionnement de notre protocole.

D'après notre algorithme, chaque véhicule doit diffuser un message pour calculer les distances par rapport à ses voisins. Donc, chaque fois qu'on augmente le nombre de véhicules dans l'autoroute le nombre de messages envoyés augmentera aussi.

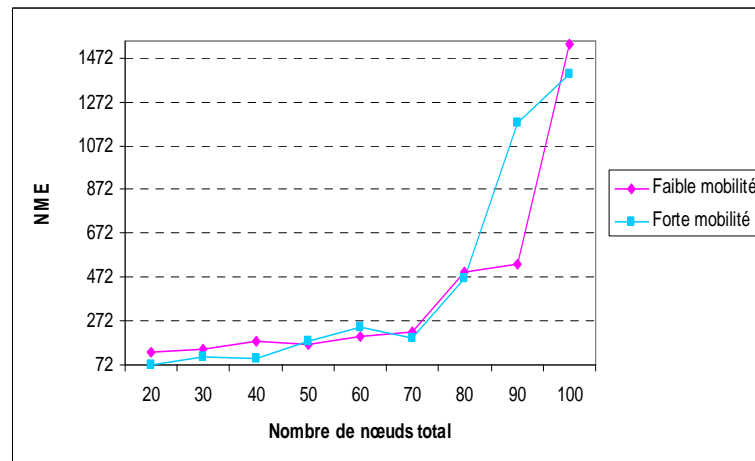


Figure 25 : Nombre de messages envoyés en fonction du nombre de nœuds

Afin d'évaluer notre approche et de voir si la vitesse des véhicules pouvait influencer sur le taux des nœuds localisés et l'erreur moyenne, nous avons fixé le nombre de véhicules à 50 et nous avons fait varier la vitesse de 20-40 km/h et 40-60 km/h,.... 100-120 km/h.

La courbe représentée dans la figure suivante montre bien comment le taux des nœuds localisés décroît avec l'augmentation de la vitesse de déplacement des véhicules.

Selon la Figure 26, on remarque que la vitesse des véhicules a un impact sur le Taux des Nœuds Localisés (TNL). Donc, chaque fois on augmente la vitesse le TNL décroît. Cela est dû au changement de topologie très rapide. Ainsi, un véhicule se trouvant dans une zone d'un clusterhead, peut quitter sa portée ce qui empêche de calculer sa position et par conséquent réduire le TNL.

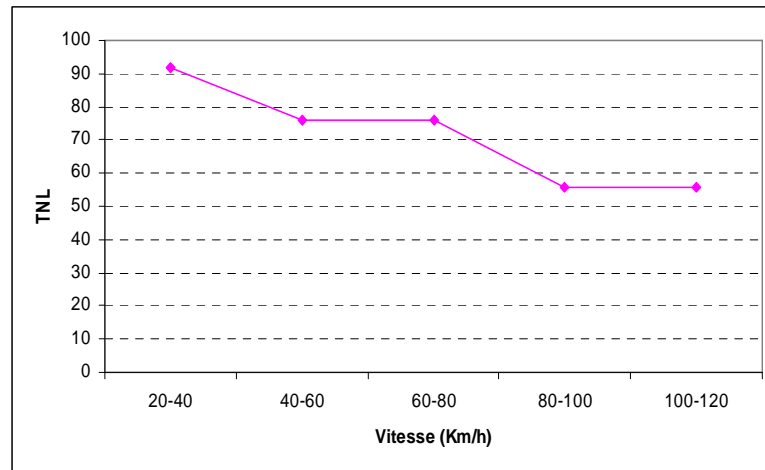


Figure 26 : Taux des nœuds localisés en fonction de la vitesse.

La figure suivante montre bien comment la courbe qui représente l'erreur moyenne en mètre continue à croître avec la vitesse des véhicules :

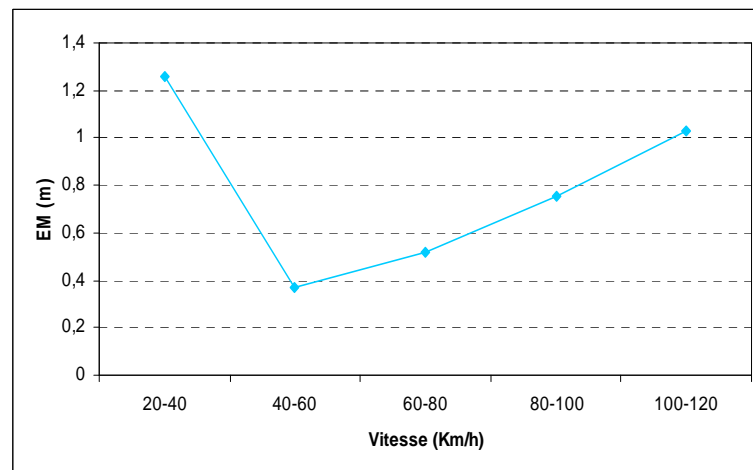


Figure 27 : Erreur moyenne en fonction de la vitesse.

La Figure 27 montre que l'erreur moyenne (EM) augmente avec l'augmentation de la vitesse des véhicules. Mais, on remarque que l'EM n'a pas dépassée la valeur 1,4 m. Cela peut être interprété de la même façon comme dans le cas de la forte mobilité de la Figure 24. Où quand le clusterhead reçoit un message d'un nouveau véhicule membre (VM), il commence à calculer la distance le séparant au moment où le VM continue à déplacer avec sa vitesse. Donc, une fois la vitesse d'un véhicule augmente, la distance augmentera aussi. Par conséquent, l'écart entre la position réelle et la position calculée par le clusterhead augmentera.

8. Conclusion :

D'après les résultats de simulation présentés précédemment, nous pouvons dire que les performances de notre protocole qui permet de calculer les positions des véhicules sont très satisfaisantes et qui peut être très utile dans des applications qui nécessitent de connaître la position des véhicules.

Le taux des nœuds localisés a atteint au maximum 92,5% avec une erreur de calcul des positions qui n'a pas dépassée 8 m et ceci dans différents scénarios de simulation. Qui est dans les normes en sachant que l'erreur de position des GPS peut atteindre 30m [BON08].

Conclusion générale

Conclusion générale

De nos jours, la voiture prend de plus en plus de place dans notre vie mais reste cependant le moyen de transport le moins sûr. La sécurité des automobiles devient une question importante et les constructeurs recherchent de nouveaux systèmes pour améliorer la sécurité à bord. La communication entre véhicules est une des solutions prometteuse qui va certainement réduire de 50% les accidents sur la route [EBE08].

Les réseaux Ad hoc de véhicules (VANet) constituent un nouveau type de réseaux issu des réseaux ad hoc (MANet). Leur particularité provient des communications qui peuvent s'instaurer entre véhicules ou bien avec une infrastructure de stations de base. La mobilité est également largement plus contrainte que dans les réseaux ad hoc traditionnels.

De nombreuses informations peuvent être échangées dans le contexte des VANet, notamment pour alerter les conducteurs lorsqu'un événement survient (accident, freinage d'urgence, véhicule quittant une place de stationnement et souhaitant en informer les autres, etc.). Dans ces environnements et afin de déterminer la localisation de ces événements on utilisera les données du navigateur GPS, mais sachant que tous les véhicules ne sont pas équipés d'un GPS ou les informations fournies par les satellites sont masquées à cause des obstacles dans l'environnement (par exemple dans un tunnel, forêt, ...), il est donc nécessaire de prévoir la localisation de ceux-ci.

Dans ce travail, on s'est intéressé au problème de localisation des nœuds dans les réseaux VANet. Nous avons présenté les principales approches existantes, leurs avantages et leurs inconvénients. Cela nous a permis de proposer notre solution, évitant les inconvénients des approches existantes et permettant de simplifier les calculs nécessaires pour évaluer les positions des nœuds. Notre solution apporte certaines améliorations qui se résument en: un seul système de coordonnées sans faire appel aux rotations et aux translations des axes, une sélection des clusterheads qui n'est pas aléatoire et une technique de maintenance du système qui permet de changer le premier clusterhead en cas de défaillance.

Comme extensions futures à notre travail nous proposons :

- Étude des performances de notre protocole avec d'autres modèles de mobilités.
- Comparaison avec d'autres protocoles de localisation à l'aide des simulations.
- Utilisation de la solution proposée dans les protocoles de routages géographiques.

Bibliographie :

Bibliographie:

- [ABO08] A. Boukerche, « Algorithm and protocols for wireless mobile network ». Wiley-IEEE Press, (405-427), November 2008.
- [AHO99] P. Aneli & E. Horlait, « NS-2 principes de conception et d'utilisation ». Version 1.3, 15 Septembre 1999.
- [BEH04] J. Blum, A. Eskandarian, L. Hoffman, « Challenges of inter-vehicle ad hoc networks », *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 5 (4) (2004) 347–351.
- [BEN04] A. Benslimane, « Optimized dissemination of alarm messages in Vehicular Ad Hoc Networks (VANets) », in: HSNMC, 2004, pp. 655–666.
- [BEN05] Abderrahim Benslimane. « Localization in Vehicular Ad-hoc networks ». *Proceedings of the 2005 Systems Communications (ICW'05)*, 2005.
- [BHE00] N. Bulusu, J. Heidemann and D. Estrin, « GPS-less low cost outdoor localization for very small devices », *IEEE Personal Communications*, vol. 7, no. 5, pp. 28-34, October 2000.
- [BON07] A. Boukerche, H.A.B.F. Oliveira, E.F. Nakamura, A.A. Loureiro, « Localization systems for wireless sensor networks », *IEEE Wireless Communications – Special Issue on Wireless Sensor Networks* vol. 14, 2007, pp. 6–12.
- [BON08] Azzedine Boukerche, Horacio A.B.F. Oliveira et Eduardo F. Nakamura. «Vehicular Ad Hoc Networks: A New Challenge for Localization-Based Systems». *Computer Communications*, 2008.
- [BTD06] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, « Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety », *IEEE Communications Magazine* 44 (1) (2006), pp. 74–82.
- [CCA06] J. Chennikara-Varghese, W. Chen, O. Altintas, S. Cai, « Survey of routing protocols for inter-vehicle communications ». In: *3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, Workshops*, 2006, pp. 1–5.

Bibliographie :

- [CHH02] S. Capkun, M. Hamdi, J. P. Hubaux. « GPS-free positioning in mobile ad hoc networks ». *Cluster Computing* 5 (2) 2002, pp. 157–167.
- [CHH06] M. Chen, D. Haehnel, J. Hightower, T. Sohn, A. LaMarca, I. Smith, D. Chmelev, J. Hughes, F. Potter, « Practical metropolitan-scale positioning for gsm phones », in: *Proceedings of 8th Ubicomp, Orange County, California, 2006*, pp. 225–242.
- [CLA02] R. Chapuis, J. Laneurit, R. Aufrere, F. Chausse, T. Chateau, « Accurate vision based road tracker », in *Intelligent Vehicle Symposium, 2002*, vol. 2, IEEE, 2002, pp. 666–671.
- [CLC05] F. Chausse, J. Laneurit, R. Chapuis, « Vehicle localization on a digital map using particles filtering », in: *Intelligent Vehicles Symposium, 2005. Proceedings of IEEE, 2005*, pp. 243–248.
- [DBA03] D. DJENOURI, N. BADACHE. « Optimisation de la consommation d'énergie pour le routage dans les réseaux mobiles ad hoc ». *Mémoire de Magister en Informatique, USTHB, 2003*.
- [DDZ08] B. Defude, T. Delot et J. L. Zechinelli. « Extraction de connaissances dans les réseaux ad hoc inter véhicules ». *TELECOM & Management, 2008*.
- [EBE08] L. ELAACHAK, A. BENSLIMANE. “ Communication inter-véhicules”, *Rapport de projet, Université d'Avignon IUP GMI, 2008*.
- [EFP03] E. Ermel, A. Fladenmuller, G. Pujolle, A. Cotton. « Estimation de positions dans des réseaux sans-fil hybrides ». *CFIP'2003*
- [ERT99] Elizebeth, M. Royer, C. K. Toh. «A Review of Current Routing Protocols for Ad-Hoc Mobile Wireless» Networks”, *IEEE Personal Communications*, pages 46-55, April 1999.
- [FJL00] M. Frodigh, P. Johansson and P. Larsson «Wireless ad hoc networking, the art of networking without a network», *Ericsson Review* No. 4, 2000, pages 248-263.
- [HLC97] B. H. Wellenho, H. Lichtenegger, J. Collins, « Global Positioning System: Theory and Practice », 4th ed., Springer-Verlag, 1997.

Bibliographie :

- [HSA05] A. Helmy, N. Sadagopan. « User Manual for IMPORTANT Mobility Tool Generators in ns-2 Simulator ».
- [HWU05] H.Wu, « Analysis and design of vehicular networks ». Technical report, Georgia Institute of Technology, 2005.
- [IMP09] <http://nile.cise.ufl.edu/important/software.htm>.
- [ISI03] R. Iyengar et B. Sikdar. « Scalable and distributed GPS free positioning for sensor networks ». IEEE Intl. Conference on Communications, May 2003.
- [JSZ05] G.R. Jagadeesh, T. Srikanthan, X.D. Zhang, « A map matching method for gps based real-time vehicle location », Journal of Navigation 57 (2005), pp. 429–440.
- [KBV08] F. Kaisser, A. Busson, V. Vèque. « Poster : Propriétés structurelles des réseaux ad hoc de véhicules ». Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP), Les Arcs : France (2008).
- [KFT06] T. King, H. Fubler, M. Transier, W. Effelsberg, « Dead-reckoning for position-based forwarding on highways », in: Proceedings of the 3rd International Workshop on Intelligent Transportation (WIT 2006), Hamburg, Germany, 2006, pp. 199–204.
- [KHW88] E. Krakiwsky, C. Harris, R. Wong, « A kalman filter for integrating dead reckoning, map matching and gps positioning, in: Position Location and Navigation Symposium », IEEE PLANS'88., IEEE, 1988, pp. 39–46.
- [KJC08] S. Khalfallah, M. Jerbi, M. O. Cherif. « Expérimentations des communications inter véhicules ». Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles (CFIP), Les Arcs : France (2008).
- [KKK05] V. Kukshya, H. Krishnan et C. Kellum. «Design of a System Solution for Relative Positioning of Vehicles Using Vehicle-to-Vehicle Radio Communications During GPS Outages ». Vehicular Technology Conference, 2005. VTC-2005-Fall. 2005 IEEE 62nd, Vol. 2, 2005, pp. 1313–1317.
- [KKU00] B. Karp, H.T. Kung, « Gpsr: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks », in: 6th International Conference on Mobile Computing and Networking, Boston, MA, USA, 2000, pp. 243–254.

Bibliographie :

- [KVA98] Y.-B. Ko, N.H. Vaidya, «Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks », in: Mobile Computing and Networking, 1998, pp. 66– 75.
- [LAB06] H. Labiod, « Réseaux mobiles ad hoc et réseaux de capteurs sans fil ». Réseaux et télécoms. 2006.
- [LBA00] T. LEMLOUMA, N. BADACHE. « Le Routage dans les Réseaux Mobiles Ad Hoc ». Mini projet de Magister, en USTHB, 2000.
- [MAR07] P. MARLIER. « Communications optimisées dans un réseau véhiculaire ad hoc multi sauts ». Rapport de stage TN10 / Mémoire de Master ST02, 2007.
- [MOB05] Le projet MobiVip, [http : //www.sop.inria.fr/mobivip](http://www.sop.inria.fr/mobivip). 2005.
- [NLF07] E.F. Nakamura, A.A. Loureiro, A.C. Frery, « Information fusion for wireless sensor networks: Methods, models, and classifications », ACM Computing Surveys 39 (3) (2007) 55.
- [OYL09] L.K. OULAD DJEDID, M.B. YAGOUBI, N. LAGRAA. « La dissémination des messages d’alerte dans les réseaux Vanet ». Mémoire de Magister en informatique, Université de Laghouat, 2009.
- [PVA06] R. Parker et S. Valaee. «Vehicle Localization in Vehicular Networks ». Vehicular Technology Conference, 2006. VTC-2006 fall. 2006 IEEE 64th, 2006, pp. 1–5.
- [SFL00] M. T. Sun, W. C. Feng, T. H. Lai, K. Yamada, H. Okada, K. Fujimura, « Gps-based message broadcast for adaptive inter-vehicle communications », in: Vehicular Technology Conference, 2000. IEEE VTS-Fall VTC 2000. 52nd, vol. 6, 2000, pp. 2685–2692.
- [SHB02] T. Schmitt, R. Hanek, M. Beetz, S. Buck, B. Radig, « Cooperative probabilistic state estimation for vision-based autonomous mobile robots », IEEE Transactions on Robotics and Automation 18 (5) (2002), pp. 670–684.
- [SHS01] A. Savvides, C. C. Han, M. B. Strivastava, « Dynamic fine-grained localization in ad hoc networks of sensors », in: 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2001, pp. 166–179.

Bibliographie :

- [SON94] H. L. Song, « Automatic vehicle location in cellular communications systems», *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 43 (4) (1994), pp. 902–908.
- [SRB01] C. Savarese, J. M. Rabaey and J. Beutel, « Locating in distributed adhoc wireless sensor networks », *Proceedings of ICASSP*, pp. 2037-2040, Salt Lake City, UT, May 2001.
- [YGE01] Y. Yu, R. Govindan, D. Estrin, « Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks », Tech. Rep. CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department, 2001.
- [YLN03] J. Yoon, M. Liu, and B. Noble. « Random waypoint considered harmful », In *INFOCOM 2003*, April 2003.

Annexe

Le format du fichier map:

Le fichier map est un composant très important dans la détermination de la topologie du réseau. Il contient les autoroutes utilisées dans la simulation. Ce qui fait, que nous pouvons modéliser n'importe quelle autoroute en fournissant les données nécessaires au programme Freeway et tout en suivant le format du fichier map [OYL09].

La figure suivante décrit le format du fichier map :

```
FREEWAY

FREEWAY_NUM <nombre_total_des_autoroutes>

LANE_NUM <nombre_total_des_voies>

LANE_BEGIN <ID_autoroute> <ID_voies_dans_cette_autoroute>
<ID_voie_dans_toutes_les_autoroutes> <direction> <nombre_de_phases_dans_cette_phase>

PHASE <ID_phase > (<début_phase_x0, début_phase_y0>)
      (<fin_phase_x1,fin_phase_y1>) <Vitesse_min> <vitesse_max>
PHASE <ID_phase > (<début_phase_x0, début_phase_y0>)
      (<fin_phase_x1,fin_phase_y1>) <Vitesse_min> <vitesse_max>
.....
.....
LANE_BEGIN <ID_autoroute> <ID_voies_dans_cette_autoroute>
<ID_voie_dans_toutes_les_autoroutes> <direction> <nombre_de_phases_dans_cette_phase>

PHASE <ID_phase > (<début_phase_x0, début_phase_y0>)
      (<fin_phase_x1,fin_phase_y1>) <Vitesse_min> <vitesse_max>
PHASE <ID_phase > (<début_phase_x0, début_phase_y0>)
      (<fin_phase_x1,fin_phase_y1>) <Vitesse_min> <vitesse_max>
.....
.....
```

Figure 28 : Format du fichier MAP.

Le fichier map commence par l'identifiant du modèle (**FREEWAY**), pour le différencier des autres modèles comme le modèle MANHATTAN. Ensuite, chaque mot clé a au minimum un

Annexe :

seul paramètre, le mot clé **FREEWAY_NUM** désigne le nombre total des autoroutes que la topographie peut comporter. **LANE_NUM** désigne le nombre total des voies de toutes les autoroutes, Pour identifier chaque voie, le mot clé **LANE_BEGIN** est utilisé, il a un ensemble des paramètres qui sont respectivement : l'identifiant de l'autoroute dont il fait partie, l'identifiant local de la voie dans cette autoroute, et puis l'identifiant global de la voie par rapport à toutes les voies de la topographie, et finalement, la direction de la voie qui prend la valeur (1) ou (-1). La voie est constituée d'un ensemble de phases, chaque phase est désignée par un identifiant de la voie dont il fait partie, elle peut être créée grâce aux deux point de début et de fin, par exemple la phase (i) a le point début (xi, yi) et le point fin (xi+1, yi+1), pour que les phases soient attachés l'une à l'autre, le point fin de la phase (i) doit être le point début de la phase (i+1), alors cette dernière a comme point de début (xi+1, yi+1) et comme point de fin (xi+2, yi+2), et ainsi de suite... Les deux derniers paramètres sont la vitesse minimale et maximale que la phase peut supporter, à noter que l'unité de distance est le mètre et l'unité de vitesse est le mètre par seconde.

Voici un exemple qui décrit un fichier map permettant de créer une autoroute comportant trois voies, chaque voie est constituée d'une phase et chaque phase a une longueur de 1Km avec une vitesse entre 80-100 m/s :

```
FREEWAY  
FREEWAY_NUM 1  
LANE_NUM 3  
  
LANE_BEGIN 0 0 0 1 1  
PHASE 0 (5.0, 1000.0) (5.0, 0.0) 80.0 100.0  
  
LANE_BEGIN 0 1 1 1 1  
PHASE 0 (10.0, 1000.0) (10.0, 0.0) 80.0 100.0  
  
LANE_BEGIN 0 2 2 1 1  
PHASE 0 (15.0, 1000.0) (15.0, 0.0) 80.0 100.0
```

Figure 29 : Exemple d'un fichier MAP.

Annexe :

Le format du fichier de mobilité :

Après la création du fichier map, ce dernier sera utilisé par le programme Freeway comme un fichier d'entrée. L'exécution de ce programme va générer le fichier contenant le modèle de mobilité, la figure.30 décrit le format du fichier "mobilité.txt" :

```
# Les positions initiales des noeuds
$node_(0) set X_ 255.778687
$node_(0) set Y_ 1577.867920
$node_(0) set Z_ 0.000000
$node_(1) set X_ 251.048004
$node_(1) set Y_ 1104.800537
$node_(1) set Z_ 0.000000
$node_(2) set X_ 251.465500
$node_(2) set Y_ 1146.549927
$node_(2) set Z_ 0.000000
.....
.....
# Les positions des nœuds à l'instant 1s
$ns_ at 1.000000 "$node_(0) setdest 255.863693 1586.368652 2.770000"
$ns_ at 1.000000 "$node_(1) setdest 251.187073 1118.707886 8.330000"
$ns_ at 1.000000 "$node_(2) setdest 251.527847 1152.785156 2.770000"
.....
.....
```

Figure 30: Exemple d'un fichier de mobilité.

Le fichier mobilité.txt commence par l'initialisation des positions des véhicules, la position est déterminée par les trois coordonnées X, Y, et Z, comme le déplacement se fait dans un environnement unidimensionnel, X prend une valeur fixe dans chaque phase et Z prend toujours la valeur 0. Le programme Freeway exécute une procédure pour déterminer les positions des nœuds à chaque instant.

La commande suivante, indique qu'à l'instant $t = 1s$, le nœud (0) se déplace vers la destination $(X, Y) = (255.863693, 1586.368652)$ avec la vitesse 2.770000 m/s :

```
$ns_ at 1.000000 "$node_(0) setdest 255.863693 1586.368652 2.770000"
```