

Rapport de stage – Mémoire de Master

Collecte d'informations dans un réseau de véhicules

Par

Ismail SALHI

Encadré par

Dr. Sidi-Mohammed SENOUCI

Responsable de l'unité de Recherche

Yvon GOURHANT

France Télécom R&D

Université Pierre & Marie Curie

Avril 2008 – Septembre 2008

Abstract

Nowadays, vehicle communication represents an interesting field for both research and industry communities. Indeed, these systems can be used to improve road safety and provide many other services to road users. Therefore, vehicular communications applications have been undertaken by several consortium and research projects.

However, to optimize the communication between vehicles, it is indispensable to define a convenient architecture for each application of vehicular networks. In our case, the vehicular network is considered as a VSN (Vehicular Sensors Network). The purpose of a VSN is data gathering and dissemination from a set of cars to a telecommunication/service provider.

Our objective was to provide a cross-layered protocol for a vehicular network, in order to perform an efficient data gathering and dissemination with a minimum cost.

First, we studied the different kinds of wireless networks and all the architectures in vehicular networks for a better understanding of the specific issues of these kind of networks. Then we defined VSNs and explained their specifications.

The second step of our work was to propose CGP (Clustered Gathering Protocol): a protocol based on a clustering solution for data gathering, aggregation and dissemination in vehicular sensor networks where the infrastructure belongs to the operator.

We finally analyze the performances of our solution using via simulation using Qualnet simulator and real mobility models.

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble de l'équipe du laboratoire CORE/M2I pour leur disponibilité et leur sympathie, et plus particulièrement :

Sidi-Mohammed Senouci, mon tuteur, pour son accompagnement et son aide précieuse tout au long du stage, pour sa pédagogie et son sens du travail.

Moez Jerbi et Oussama Cherif, tout deux thésards au sein de l'équipe, qui m'ont beaucoup aidé et m'ont permis de venir à bout du projet.

Ainsi que toutes les personnes qui ont contribué dans l'ombre à ce travail, Elles se reconnaîtront.

Table des matières

Introduction	5
1 Présentation de l'entreprise	6
1.1 France Telecom	6
1.2 Orange Labs – France Telecom R&D	6
1.3 Laboratoire CORE/M2I.....	6
1.4 Unité de recherche et développement R2A.....	6
2 Etat de l'art des réseaux sans fils	7
2.1 Réseaux basés infrastructure	7
2.2 Réseaux light-infrastructure.....	7
2.2.1 Réseaux ad hoc mobile (MANET, Mobile Ad hoc Network).....	7
2.2.2 Réseaux de capteurs (Sensors Networks)	7
2.2.3 Réseaux tolérants aux délais (Delay Tolerant Networks, DTN).....	8
2.2.4 Réseaux de véhicules (VANET).....	9
2.2.5 Réseaux de capteurs véhiculaire (Vehicular Sensors Network, VSN).....	14
3 Objectifs et contributions	22
3.1 Problématique et objectifs	22
3.2 Solution proposée : Clustered Gathering Protocol – CGP	23
3.2.1 Architecture de CGP.....	23
3.2.2 Environnement.....	24
3.2.3 Vue générale du protocole	25
3.3 Implémentation et simulation de CGP	29
3.3.1 Paramètres et environnement de simulation.....	30
3.4 Résultats des simulations	34
3.5 Résultats avec un modèle mathématique simple.....	35
2. Conclusion et perspectives	37
3. Bilan personnel.....	37
Références.....	38
Table des illustrations.....	40
Annexe.....	41
1. Environnement de simulation (Qualnet 4.5)	41
1.1 Fonctionnement du simulateur	42

Introduction

Les réseaux sans fil font depuis plus d'une dizaine d'années partie intégrante de la vie quotidienne des entreprises, des particuliers, de l'industrie et d'autres organisations. Cette démocratisation a fait des réseaux sans fil, l'une des briques de base sur lesquelles vont se fonder les systèmes intelligents. En effet, les ordinateurs, capteurs, puces, réseaux numériques et autres systèmes électroniques vont participer dans un futur proche à la démocratisation de l'informatique omniprésente, c'est-à-dire, la fusion des mondes virtuels et du monde réel afin de créer des environnements "intelligents" qui puisse offrir à leurs usagers une multitude de services invisibles en haute disponibilité. (Systèmes de transport intelligent, maison intelligente, aide et surveillance médicale, ... etc.)

Un exemple typique de ces applications, sont les systèmes de transport intelligent (ITS, Intelligent Transportation System), dont la fonction est de procurer plus de sécurité, de convivialité et de connaissance de l'environnement au conducteur du véhicule et à ses passagers.

C'est sur cette dernière thématique que va s'axer notre travail, et plus particulièrement sur une application de ce que l'on appelle les réseaux de véhicules ou VANET (Vehicular Ad hoc NETWORKS) qui permet de faire de la collecte d'informations dans un environnement routier.

Dans un premier temps, nous définissons les réseaux de capteurs véhiculaires (Vehicular Sensors Networks - VSN) et étudions leurs spécificités. Nous proposons en suite une architecture pour mettre en œuvre un VSN au sein d'un réseau d'opérateur, ainsi qu'une solution protocolaire complète basée sur la dissémination et l'agrégation hiérarchique, dont le but est de récolter un maximum d'information dans un réseau de véhicules et d'offrir un service de restitution sur l'état du trafic routier en temps réel dans une zone géographique donnée.

Durant la seconde partie du stage, nous avons pu implémenter le protocole proposé CGP (Clustered Gathering Protocol) dans un environnement de simulation afin d'en tester les performances par rapport à d'autres solutions.

Dans les sections suivantes de ce rapport, une description de l'entreprise ainsi que de l'équipe de recherche sera évoquée. Suivra un état de l'art des différents types de réseaux sans fils. Ce qui permettra d'avoir un aperçu et une vue générale sur l'état actuel des technologies sans fils, avec une vision sur les futures avancées qu'elle est amenée à connaître, mais surtout d'assimiler les bases nécessaires qui permettent de comprendre le fonctionnement et les mécanismes de bases des réseaux véhiculaires. La section suivante traitera de la problématique liée à l'implémentation d'un réseau VSN en utilisant un réseau d'opérateur, mais aussi des objectifs du stage, suivi par le détail de la solution proposée. Dans la dernière partie du rapport, un bilan personnel sur le déroulement du stage et sur le travail accompli sera présenté.

1 Présentation de l'entreprise

1.1 France Telecom

France Telecom est une société par action (SA) avec un capital de plus de 10.400.000.000,00 d'euros, Opérateur historique français, elle représente l'un des plus grands opérateurs de télécommunications dans le monde, présent sur les cinq continents sous la marque Orange, et comptant à son actif plus de 170 millions de clients. L'entreprise est le premier opérateur en France et le troisième opérateur mobile et le premier fournisseur d'accès Internet en Europe et parmi les leaders mondiaux des services de télécommunications aux entreprises multinationales.

1.2 Orange Labs – France Telecom R&D

Orange Labs constitue la division *Recherche & Développement* du groupe France Telecom. Source d'innovation et de veille technologique, sa principale mission est le développement de nouveaux produits et services à travers les différents laboratoires et équipes de recherche. La création de nouvelles sources de croissance pour le groupe est aussi une préoccupation importante de la R&D et cela grâce à l'anticipation, qui permet au groupe d'explorer le plus rapidement possible les ruptures technologiques majeures et les nouveaux usages.

Orange Labs en chiffres :

- 3900 chercheurs ingénieurs
- 17 implantations à travers le monde
- 512 brevets, 261 logiciels par an
- des investissements importants en R&D avec 700 millions d'euros, soit 1,5% du CA en 2005 et une forte croissance en 2004 et 2005 : + 20 %

1.3 Laboratoire CORE/M2I

Multimédia networks for non-conversational fixed/mobile services : Image, Internet" (M2I) : dirigé par Xavier Hattrisse, a pour mission d'étudier, pour les réseaux fixes et mobiles, l'ingénierie des services non conversationnels : accès à Internet et services de diffusion de l'image. Il définit, sélectionne, évalue, valide et participe à l'intégration des équipements réseaux nécessaires à ces services. Le laboratoire met en œuvre des compétences sur les équipements et architectures des réseaux de collecte fixe et mobile, de commande de ressources (plates-formes de commande et sondes applicatives) et d'authentification comptage (chaîne RADIUS et ses extensions, plates-formes de facturation à l'acte, traitement du nomadisme dans le réseau). Il apporte une expertise aux entités du Groupe France Télécom afin de leur permettre de réaliser les évolutions des réseaux et des services de collecte dans un souci de qualité, sécurité et d'optimisation des investissements, charges et chiffre d'affaires.

1.4 Unité de recherche et développement R2A

L'Unité de Recherche et Développement (URD) R2A dirigé par Yvon Gourhant a pour thème les "Réseaux Adaptables, traitements Applicatifs et réseaux spontanés" (R2A) qui regroupe les réseaux auto-organisés tels que les réseaux pair à pair et multi-sauts. L'URD développe, évalue et intègre les technologies des réseaux adaptatifs (routeurs logiciel, réseaux actifs et programmables). De plus, elle se concentre sur les réseaux ad hoc et réseaux de véhicules: amélioration des protocoles de routage, qualité de service, plateforme de tests et implémentations.

2 Etat de l'art des réseaux sans fils

2.1 Réseaux basés infrastructure

Dans ce type de réseaux, c'est uniquement le premier et dernier saut qui est transmis sur medium sans fils, la communication inter-terminal se fait via des stations de base qui constituent le backbone fixe de tout le réseau, et qui gère toutes les communications entre les terminaux. Ainsi, si un terminal A veut communiquer avec le terminal B, il est nécessaire de passer par au moins une station de base qui relie les deux terminaux.

Ce type d'architecture est le plus déployé, car il permet d'offrir une garantie en termes de qualité de service (QoS) aux utilisateurs. Le meilleur exemple de ce type de réseaux est celui des réseaux de téléphonie mobile (GSM, UMTS, WLAN 802.11, etc.).

La recherche dans ce domaine comprend un très large spectre de spécialisations : l'optimisation du routage, la gestion du handover, la garantie en QoS, la sécurité ... etc. Plusieurs groupes [1] travaillent sur des problématiques spécifiques aux réseaux basés infrastructure. Mais comme c'est une technologie qui a déjà atteint un certain niveau de maturité, les chercheurs se concentrent beaucoup plus sur les aspects optimisation de celle-ci.

2.2 Réseaux light-infrastructure

2.2.1 Réseaux ad hoc mobile (MANET, Mobile Ad hoc Network)

Un réseau ad hoc est différent d'un réseau basé infrastructure, dans la mesure où les communications entre les nœuds du réseau ne se font plus par des stations de bases fixes, mais directement via les différents nœuds du réseau – qui jouent donc le rôle de routeurs.

Ainsi si un nœud A veut communiquer avec le nœud B, les données devront être acheminées à travers des nœuds intermédiaires, si le nœud A n'est pas dans le rayon de transmission du nœud B.

L'utilisation d'une telle architecture peut s'avérer utile dans des zones dépourvues d'infrastructures, de telle manière à assurer la communication, comme dans le cas d'une opération de secours dans une zone sinistrée, d'une opération militaire ou simplement pour étendre le rayon de transmission d'un point d'accès sans fils.

Il existe encore plusieurs problématiques liées aux MANETs qui sont en cours d'analyse par différentes entités de recherche, on citera les études faites sur les comportements des graphes dynamiques, l'accès au media, la QOS, le Clustering, la gestion de la mobilité, les modèles et la simulation des réseaux ad hoc mobiles.

2.2.2 Réseaux de capteurs (Sensors Networks)

Dans un réseau de capteurs (SN, Sensors Network), les nœuds du réseau ne sont plus des terminaux intelligent (ordinateur, PDA, ... etc.) mais des capteurs équipés de dispositifs de mesure (température, vitesse, pression, vibration, localisation ... etc.), de microcontrôleur, d'un système d'alimentation et d'une (ou plusieurs) antenne(s) radio. Le but du déploiement d'un tel réseau étant d'effectuer des mesures distribuées sur une zone donnée, afin de les transférer vers une (ou plusieurs) station(s) de base pour qu'elles puissent être traitées.

Ce type de réseau a plusieurs domaines d'application dans le domaine industriel, militaire, spatial ou environnemental tel que la détection d'incendie dans des zones isolées ou des mesures (atmosphère, éléments chimiques, température, ... etc.) dans des milieux hostiles ... etc.

La différence entre un réseau de capteur et un réseau ad hoc, réside dans le fait que dans un réseau de capteurs, le routage est généralement directionnel et est basé sur l'agrégation, i.e. les données sont envoyées vers les stations de bases par une liaison multi sauts où chaque nœuds intermédiaire ajoute sa propre mesure jusqu'à ce que toutes les données arrivent au niveau d'une station de base.

Les axes de recherche dans les réseaux de capteurs se focalisent sur :

1. *la gestion de l'énergie* : les capteurs sont des dispositifs très limités en alimentation, ce qui implique l'utilisation de mécanismes de réduction de la consommation. (voir [2], [3])
2. *la sécurité des communications* : la limitation des capteurs en termes de puissance de calcul et d'énergie rend difficile l'implémentation de mécanismes de sécurité tel que la cryptographie, plusieurs études introduisent de nouvelles approches plus adaptées aux contraintes et aux besoins en sécurité imposées par les réseaux de capteurs tel que le local monitoring présenté dans [4].
3. *l'homogénéité du réseau* : afin d'avoir des résultats cohérents et exploitables, l'ensemble des nœuds du réseau doivent être dans un état homogène, i.e. que les nœuds doivent être synchronisés, calibrés et dans certains cas connaître leurs positions.
4. *Auto-organisation et la tolérance aux pannes* : un réseau de capteurs doit être en mesure d'auto-organiser des communications multi-sauts afin de garantir que les informations arriveront bien aux stations de base. Mais il doit aussi continuer à fonctionner correctement même dans le cas où des nœuds sont en pannes ou hors services. (voir [5])

2.2.3 Réseaux tolérants aux délais (Delay Tolerant Networks, DTN)

Les DTNs sont une nouvelle catégorie de réseaux conçus pour étendre le périmètre de réseaux de données aux régions qui ne peuvent pas y avoir directement accès. Un DTN garantit l'interopérabilité entre plusieurs réseaux différents en terme d'architecture, de protocoles de communication, de médium de communication, ... etc. C'est une sorte de surcouche qui relie plusieurs réseaux régionaux parmi lesquels le réseau Internet.

Les DTNs utilisent la technologie sans fil pour interconnecter les nœuds du réseau, cela ne concerne pas uniquement les communications radio, mais aussi les liaisons satellitaires (UWB), optiques sans fil et acoustiques (sonar ou ultrason par exemple)

Certains réseaux émergents et qui ne sont pas conformes aux caractéristiques spécifiques du réseau Internet, sont concernés par les DTNs, ces réseaux ont des propriétés telles que :

1. Une connectivité intermittente (partitionnement du réseau)
2. Des débits importants et/ou variables
3. Un débit asymétrique
4. Un taux d'erreur binaire important

Concrètement, on peut avoir à faire avec ce genre de réseaux dans des cas de plus en plus répandus, où les nœuds du réseau sont en mouvement et/ou peuvent avoir des contraintes d'alimentation en énergie. Cela peut être le cas dans plusieurs cas de figure :

- Liaison de dispositifs sans fils civil, tel que les voitures, les autoroutes,
- Un réseau reliant des troupes militaires, des avions, des satellites sur un champ de bataille
- Les réseaux extraterrestres comme celui proposé dans [6].

NB : Les DTNs peuvent être vu comme une abstraction des MANETs et des réseaux de capteurs, à juste titre, mais il faut bien comprendre que le concept des DTNs va au delà de ces deux types de réseaux.

La recherche dans le domaine des DTN est très active vue la récente apparition de la discipline. Elle concerne aussi bien les architectures [7], les protocoles de routage [8] que la dissémination [9] des données par exemple.

2.2.4 Réseaux de véhicules (VANET)

Un réseau de véhicules (VANET, pour *Vehicular Ad hoc NETWORK*) peut être considéré comme un cas particulier de chacun des réseaux que l'on a vu précédemment, cela dépend en fait de l'architecture, de l'applicabilité et de l'environnement du réseau véhiculaire que l'on veut étudier. Mais avant toute analogie, un VANET est tout d'abord un réseau de véhicules communicants entre eux (ou avec des stations fixes) via des liaisons sans fil afin d'offrir un des services suivants :

1. **Une conduite collaborative sécurisée** : transmission des messages d'urgence (freinage, collision, danger quelconque ... etc.)
2. **Une conduite plus conviviale et confortable** pour le conducteur et ses passagers : partage de contenu, publicité, tourisme, internet.
3. **Un retour d'informations sur l'état de l'environnement** dans lequel évolue le véhicule : état de la route, information sur l'environnement (place de parking, embouteillages)
4. **Un environnement de conduite plus optimisé** : ex. allumage automatique de l'éclairage sur les routes quand il ya du trafic.

C'est une catégorie des réseaux sans fils en plein essor. Plusieurs groupes de travail (voir 802.11p), laboratoires de recherche et industriels du secteur de l'automobile et des télécommunications travaillent sur le développement de cette technologie avec comme perspective l'aboutissement à une solution complète qui permettra une automatisation de certaines tâches dans la conduite, une meilleure connaissance de l'environnement dans lequel progresse le véhicule, et de ce fait une plus grande sécurité et un meilleur confort pour l'utilisateur final.

La recherche dans le domaine des VANETs est très active, plusieurs projets et consortiums travaillent sur le domaine, parmi lesquels : Car2Car Communication Consortium [10] lancé par les constructeur Européens, ou le projet Vehicle Safety Communications [11] lancé par le département des transports des USA qui regroupe sept des plus grands constructeurs automobile au monde. Certains gouvernements ont même dédié une bande de fréquence spécifique aux communications inter-véhicules et véhicules à stations, tels que DSRC (Dedicated Short Range Communication) aux Etats-Unis et au Japon qui respectivement utilise la bande de fréquence de 5.9 GHz et 5.8 GHz, ou encore la norme IEEE 802.11p qui est toujours en discussion entre les différents acteurs du domaine.

La recherche dans les VANETs porte sur différents aspects :

- les architectures
- la sécurité
- la dissémination et le routage
- les communications sans fils
- l'auto-organisation

Nous nous intéresserons donc plus spécialement dans ce travail aux protocoles et architectures de communication des ITS, qui ne sont ni plus ni moins que des réseaux de véhicules.

2.2.4.1 Principaux acteurs dans le domaine des VANETs

Les nombreuses applications qu'introduisent les réseaux de véhicules ont suscité l'intérêt de plusieurs entités (figure 1). Que ce soit, des organisations gouvernementales, des entreprises ou des centres de recherche.

i. Les organisations gouvernementales

L'intérêt majeur qu'ont les gouvernements envers les VANETs réside dans leur capacité à apporter plus de sécurité sur les routes. Le Département des Transport Américain (*US Department of Transportation*) a par exemple entrepris le projet VSC (Vehicle Safety Communications) qui a pour objectif, l'évaluation des applications de sécurité routières apportées par les VANETs. Il a permis :

- de déterminer les configurations (matériel et logiciel) nécessaires pour chaque type d'application
- de participer au développement de DSRC en faisant en sorte qu'il comprenne les critères de sécurité nécessaires.

Le Forum of European National Highway Research Laboratories (FEHRL) par exemple regroupe plusieurs groupes qui travaillent sur les VANETs et l'aspect sécurité qu'ils pourraient apporter aux routes européennes. On peut aussi citer certains gouvernements, qui ont même dédié une bande de fréquence spécifique aux communications inter-véhicules et véhicules à stations, tels que DSRC (Dedicated Short Range Communication) aux Etats-Unis et au Japon qui respectivement utilise la bande de fréquence de 5.9 GHz et 5.8 GHz.

ii. Les consortiums

Il existe plusieurs consortiums qui travaillent activement au développement de la technologie des réseaux véhiculaires, ces groupes sont généralement composés de constructeurs automobile, de laboratoires de recherche et développement ainsi que d'autres entreprises (informatique, électronique, ... etc.)

Le Car2Car Communication Consortium par exemple représente une organisation à but non lucratif fondée par les constructeurs automobiles européens (BMW, Audi, Daimler, Fiat, Honda, Opel, Renault, Volkswagen) ouverte aux laboratoires de recherche (INRIA, Université de Düsseldorf, de Munich ... etc.) et aux partenaires commerciaux qui a pour but l'amélioration de la sécurité ainsi qu'une meilleure gestion du trafic routier.

L'initiative VII (Vehicle Infrastructure Integration) [32] représente aussi un consortium, entre le gouvernement américain, les constructeurs automobiles (BMW, Chrysler, Daimler Benz, Ford, General Motors, Honda, Hyundai, Nissan, Subaru, Suzuki, Toyota, Volkswagen). Le consortium a été lancé en 2003 par USDOT (US Department of Transportation) et il a pour objectif d'étudier les possibilités offertes par les systèmes de communications bilatérales, de véhicule à véhicule, et de véhicule à infrastructure routière pour fournir une nouvelle gamme de services aux conducteurs d'automobiles, de camions et d'autobus. Les premières expérimentations faites à Détroit aux US ont démontrées la faisabilité de la technologie [33]. L'achèvement du projet étant prévu à l'horizon 2017.

Au Japon, qui sont les pionniers dans le domaine, il y a eu de grandes initiatives telles que VICS (Vehicle Information and Communication System), AHS (Advanced Cruise-Assist Highway System, depuis 1996), DSSS (Driving Safety Support Systems, depuis 2002) and ASV (Advanced Safety Vehicle, depuis 1991). Dans le programme du projet ITS-Safety 2010, des expérimentations larges échelles sur les voies publiques sont prévues en 2008 et un déploiement dans tout le pays en 2010. Le Japon a aussi mis au un système à satellites

Quasi-Zenith (QZSS, http://qzss.jaxa.jp/index_e.html) par le biais d'un partenariat public-privé «afin d'améliorer différents types de services de localisation». L'un des principaux objectifs est de réduire les coûts sociaux des accidents de la route. Le système QZSS devrait permettre de radiodiffuser des informations extrêmement précises sur le positionnement des véhicules et d'améliorer ainsi la sûreté et la sécurité routière.

iii. Les industriels du logiciel

Beaucoup d'entreprises investissent dans le domaine des systèmes de transport intelligents, en particulier dans la partie guidage et informations temps réelle. Des sociétés comme Dash, Google, TomTom ne font plus uniquement que cartographier les routes, ils permettent aussi aux conducteurs (ou passagers) de recevoir des informations en temps réel sur l'état du trafic routier, de se connecter à Internet, de connaître les magasins (restaurants, librairie, parking, cinémas, etc.) sur le chemin.

Microsoft par exemple propose aux constructeurs automobiles des versions de son système d'exploitation (<http://www.microsoft.com/auto/default.msp>) qui servent de plateforme standardisée et qui permettent de gérer toute l'électronique embarquée, les communications et offre aux passagers diverses applications (divertissement, services, etc.).

iv. Les télécoms

Les opérateurs télécom forts de leurs infrastructures déjà largement déployées, accordent une attention particulière au développement des VANETs, Orange Labs, SFR, Telecom Italia, AT&T labs ou encore Deutsche Telekom participent tous au développement de la technologie via des partenariats avec des industriels, des universités et leurs propres équipes de recherche et développement.

L'intérêt pour l'opérateur ou fournisseur de services, réside dans l'exploitation de leurs réseaux afin de fournir des services tels que de la publicité, ou l'information sur le trafic, etc. En fait, de tels réseaux correspondent à une évolution/extension naturelle de son propre réseau. Ils représentent une solution peu coûteuse qui améliore les performances de son réseau grâce à la communication multi-saut.

v. Les universités et centres de recherches

Etant une technologie toujours en développement, les réseaux véhiculaires font partie des grandes tendances en termes de recherche. Le nombre de conférence et de workshop organisés spécialement pour les VANETs en est la preuve. Les centres de recherche et universités (UCLA, Université de Karlsruhe, Université de Stanford, INRETS, etc.) participent activement à l'amélioration et à l'optimisation de plusieurs points, parmi lesquels : Les architectures de communication, le routage et la dissémination des données, les mediums de communication (couche MAC et physique, la sécurité des communications, l'auto-organisation et la tolérance aux pannes, etc.

Par exemple, les ingénieurs du Laboratoire Vehicularlab de l'université de UCLA (<http://www.vehicularlab.org>) travaillent à construire un réel réseau de véhicules. Voici leur point de vue : A l'heure où nos voitures embarquent de plus en plus de technologie et ont de plus en plus besoin de communiquer avec l'extérieur - et demain avec le monde des objets communicants qui nous cerneront -, les chercheurs estiment qu'il serait assez économique d'ajouter des capteurs dans les toits et les pare-chocs des véhicules pour créer des plateformes de réseaux mobile ad-hoc, capables de relier en réseau les automobiles passant à proximité les unes des autres. Les premiers prototypes se destinent bien sûr aux véhicules d'urgence, mais des tests sont en préparation sur une cinquantaine de véhicules appartenant à la flotte de l'université (*Campus Vehicular Testbed*, CVeT).

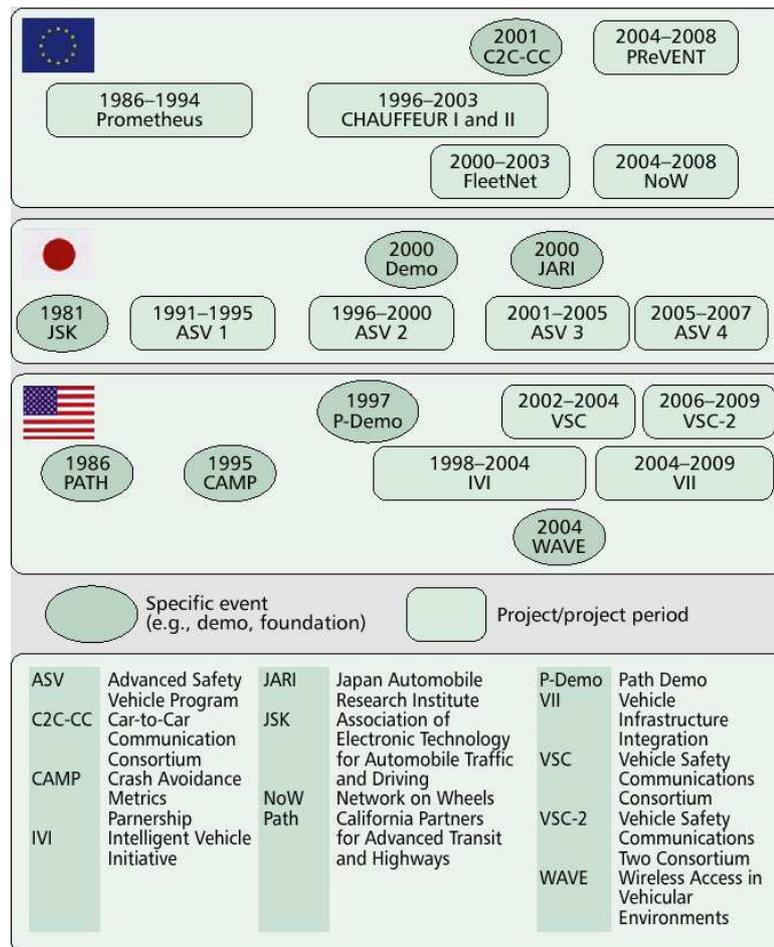


Figure 1 - Principaux acteurs dans le domaine des réseaux véhiculaires [34]

2.2.4.2 Architectures des VANETS

Communication de véhicule à véhicule (V2V)

Dans cette approche, un réseau de véhicules est vu comme un cas particulier de MANET où les contraintes d'énergie, de mémoire et de capacité de calcul sont relaxées, et où le modèle de mobilité n'est pas aléatoire, mais prédictible (sous-couche du réseau routier) avec une très forte mobilité. Cette architecture peut être utilisée dans les scénarios de diffusion d'alerte (freinage d'urgence, collision, ralentissement, ... etc.) ou pour la conduite collaborative.

Communication de véhicule à infrastructure (V2I)

Dans ce cas, les communications passent par les équipements fixes appartenant à l'opérateur. Les communications V2I sont plus utiles dans le cas d'application de confort et de convivialité tel qu'un accès Internet par exemple, ou dans le cas de diffusion d'informations sur le trafic (météo, tourisme, trafic, publicité ...etc.) via des stations d'information. Un exemple de ce type d'architecture est proposé dans [13] pour la localisation et la distribution des informations sur la disponibilité des places de parking via une infrastructure fixe.

Mais dans le cas où il est nécessaire qu'il y ait une communication V2V, les réseaux à infrastructure montrent leurs limites, surtout en termes de délais, où il est clair qu'une communication ad hoc multi-sauts est plus performante qu'une communication passant par un réseau d'opérateur.

Communication hybride

Dans l'architecture hybride (voir figure 2), les deux approches V2V et V2I sont utilisées, et cela pour garantir un certain service. En effet, les portées des infrastructures étant limitées, l'utilisation de véhicules comme relai 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.

Un exemple de ce genre d'approche est celui de la collecte d'information à partir d'un réseau de voitures en pair-à-pair [12], et cela afin de diffuser des alertes de sécurité. Autre application de l'architecture V2V est la capture d'image dans chaque voiture afin de les rendre disponibles pour un ensemble d'agent de police par exemple.

Remarque : il n'existe pas de solution générale qui permettrait de régler totalement toutes les problématiques rencontrées dans les VANETs. Comme précisé par exemple dans [14] un protocole donné peut très bien fonctionner pour un modèle de mobilité donné mais pas du tout pour un autre. Ainsi, le choix d'une solution doit reposer sur une connaissance parfaite des différents paramètres inhérents aux caractéristiques du problème étudié. (Modèle de mobilité, nombre potentiel de nœuds, exigence de l'application ... etc.)



Figure 2 – Illustration d'un réseau VANET

2.2.5 Réseaux de capteurs véhiculaire (Vehicular Sensors Network, VSN)

Les réseaux VSN émergent en tant qu'une nouvelle architecture de VANETs, qui a pour objectif la collecte et la diffusion proactive et temps réelle des données relatives à l'environnement dans lequel évoluent les véhicules, plus particulièrement en zones urbaines. Ceci peut être utile pour l'obtention d'information sur le trafic routier (embouteillages, ralentissements, vitesse moyenne du trafic, ... etc.), dans le cadre d'informations plus générales telles que la consommation moyenne de carburant et le taux de pollutions ou encore pour des applications de surveillance, via des caméras embarquées sur des voitures par exemple. Autre exemple, est celui des événements concernant les places de stationnement disponibles, qui peuvent être exploités, lorsqu'il n'y a aucune place disponible diffusée par les autres véhicules, pour déterminer l'endroit où la probabilité de trouver une **place de parking libre** est la plus importante (en fonction du jour et de l'heure par exemple). Dans un autre contexte, grâce à la corrélation des différents messages reçus sur les accidents et les freinages d'urgence, les **zones dangereuses peuvent être dynamiquement détectées** et indiquées au conducteur, qu'elles soient d'ailleurs continuellement dangereuses ou seulement temporairement du fait des conditions climatiques par exemple.

Des chercheurs au *Georgia Institute of Technology* ont déjà utilisé un VSN pour obtenir des informations sur le trafic et pour mieux comprendre la formation de bouchons. Ils indiquent dans [15] que les VSN font partie des solutions les moins coûteuses qui permettraient de réduire les embouteillages, les émissions en gaz carbonique et la consommation de carburant.

Les réseaux VSN représentent un cas spécial des réseaux ad hoc mobiles et des réseaux de capteurs en même temps, dans ces réseaux un nœud n'est plus un capteur unique et fixe, mais un ensemble de capteurs placés dans un véhicules qui peut être en mouvement.

- i. **Analogie avec les réseaux ad hoc** : un VSN peut être considéré comme un réseau ad hoc mobile dans la mesure où tous ses nœuds sont sensés communiquer entre eux (ou vers une station) via des chemins en multi-sauts.
- ii. **Analogie avec les réseaux de capteurs** : la partie commune entre un réseau de capteurs véhiculaires (figure 3) et un réseau de capteurs "classique" réside dans le fait que le but du déploiement d'un tel réseau n'est plus (comme dans les réseaux ad hoc, ou à infrastructure) la communication opportuniste, mais bien la collecte et la dissémination/agrégation de l'information.

Cependant, les VSN disposent de contraintes plus fortes sur lesquelles on peut les différencier des MANET et des réseaux de capteurs :

- **Modèle de mobilité** spécifique : les nœuds du réseau suivent un modèle de mobilité plus prédictible que celui rencontré dans les MANET (sous-graphe du réseau routier, limitation de vitesse, ronds-points, carrefours)
- **Forte mobilité** des nœuds
- **Partitionnement du réseau**, en raison de la forte mobilité des nœuds et du fait que la distribution des véhicules ne suit pas de modèle spécifique, le réseau peut se subdiviser en plusieurs sous-réseaux avec comme conséquence la disparition de certains chemins de bout en bout (temporairement ou définitivement).
- Nœuds du réseau dotés de **hautes capacités** en termes de stockage, d'énergie, et de calcul relativement aux réseaux de capteurs
- Possibilité de gestion de **grandes quantités de données** : en effet, les capteurs installés dans les véhicules (voir figure 3) peuvent générer une grande quantité de données (Captures vidéo, audio, données véhicules ... etc.)
- **Gestion dynamique des puits de données** : par rapport aux réseaux de capteurs, les points centraux de collecte de données (les stations de base) ne sont plus uniques, du fait de la mobilité des nœuds, ainsi dans un VSN la transmission des captures se fait d'une manière différente

- Possibilité d'une connectivité à **grande échelle**, dans les grandes avenues et routes de métropoles où le trafic routier peut être très important. Ce qui est différent des réseaux de capteurs car dans les réseaux de capteurs le nombre de capteurs est connu a priori généralement.
- Une **redéfinition des techniques** telles l'accès au canal, le routage et la dissémination des données, l'auto-organisation, la sécurité, l'adressage IP, etc. est parfois nécessaire pour une meilleure adaptation au VSN

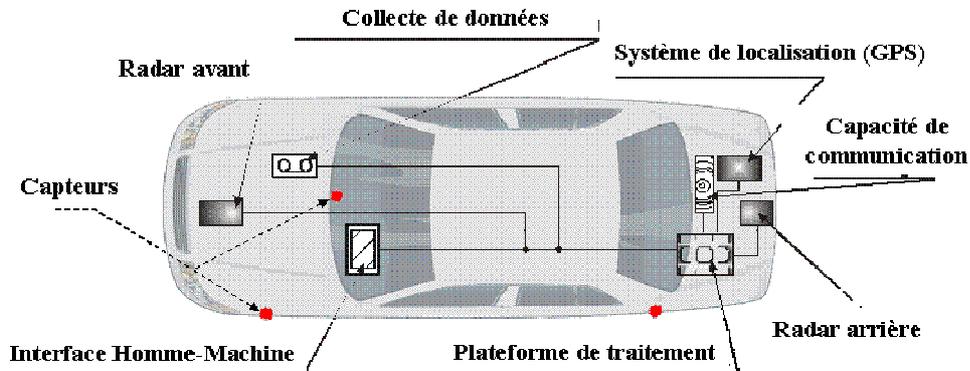


Figure 3 - Voiture Intelligente [35]

2.2.5.1 Pré-requis pour un VSN

Vu le domaine d'application et les contraintes liées aux réseaux de capteurs véhiculaires, il est important de lister les impératifs que devra respecter un VSN afin qu'ils puissent être déployés dans le monde réel.

- ✓ **Robustesse** : Tolérance aux pannes, aux interruptions du ou au partitionnement du réseau, aux délais et aux problèmes liés à la couche d'accès au médium sans fils (collision, terminal caché, effet Doppler ... etc.),
- ✓ **Haut débit** : Transmission en haut débit pendant des temps de communication très courts, et cela à cause du caractère très dynamique du réseau,
- ✓ **Auto-organisation** des nœuds pour le passage à l'échelle,
- ✓ **Evolutivité** : apporter garantie d'évolutivité, afin d'assurer une compatibilité avec les implémentations et améliorations futures,
- ✓ **Gestion de la connectivité** : Utilisation de mécanismes limitant la surcharge dans le réseau, les délais et garantissant une connectivité maximale en termes de débit et de temps de connexion,
- ✓ **Non-intrusifs** : Les VSN doivent respecter la notion de non-intrusion spécifique aux réseaux sans fils, i.e. ne pas influencer sur les réseaux voisins et respecter les contraintes imposées par la réglementation,
- ✓ **Dissémination rapide** : Une dissémination rapide des messages en particulier pour les applications de sûreté sur la route,
- ✓ **Acheminement efficace** : Taux d'acheminement des messages élevé,
- ✓ **Équité** : Utilisation équitable des ressources.

2.2.5.2 Application des VSN

Vu le nombre de capteurs déjà disponibles dans les voitures récentes et l'avancement des technologies de capture dans le domaine de l'automobile, on peut imaginer plusieurs domaines d'application à une architecture hybride telle que celle que nous proposons :

Informations en temps réel sur l'état du trafic :

Certaines solutions basées sur des architectures fixes (réseaux de caméras) arrivent déjà à donner ce type d'informations, mais elles sont localisées uniquement sur certaines régions. L'utilisation d'un VSN assure un déploiement à moindres coûts mais surtout à plus large échelle. Ainsi, les véhicules pourront envoyer des données telles que leur vitesse, leur accélération aux stations fixes d'un opérateur, pour que celui-ci puisse les analyser et fournir un service d'information sur l'état du trafic à ses clients (via internet par exemple). Ce service pourra même détecter des ralentissements anormaux dans la circulation et ainsi prévenir les usagers de la route.

Suivi de déplacement :

Les véhicules du réseau pourraient envoyer leur identifiant ainsi que leur position actuelle vers l'opérateur, pour que celui-ci puisse offrir un service de géo-localisation à ses clients (gestion de flottes pour les entreprises de transport par exemple)

Autres applications :

Les véhicules pourront envoyer par exemple leur consommation moyenne d'essence, ainsi l'opérateur pourra donner à ses clients des estimations sur la consommation de carburant sur telle ou telle route.

Dans [15] E. Guizzo. Montre que des systèmes tels qu'un réseau de capteurs véhiculaires pourraient réduire efficacement le taux d'émissions de gaz à effet de serre, la consommation de carburant et le nombre d'embouteillages sur les routes.

2.2.5.3 Couche MAC et physique pour un VSN

Pour le choix du médium de communication, plusieurs possibilités sont envisageables:

- I. **Liaisons radio sur fréquences libres** : l'utilisation de la technologie 802.11 peut s'avérer très utile lors de communications inter-véhicules surtout qu'elle est peu coûteuse, et facilement paramétrable.
Mais d'un autre côté, elle ne donne aucune garantie en termes d'équité dans le partage des ressources et qualité de service.
- II. **Liaisons 3G** (ex. CDMA) : Ce type de liaison permet uniquement de faire du V2I, la communication V2V serait trop coûteuse et trop complexe à implémenter. L'avantage d'utiliser ce type de lien est la haute disponibilité des points d'accès et les débits importants qu'ils offrent. De plus le fait que le réseau soit déjà déployé sur quasiment tout le territoire, donne de sérieux avantages en termes de coûts, comparés à d'autres types d'architectures où il serait nécessaire de déployer toute une infrastructure (tel que 802.11).

Dans [16], W. Kiess, J. Rybicki et M. Mauve montrent que les réseaux à infrastructure sont généralement plus adaptés à toutes les applications des VANETs qui utilisent des stations fixes (accès Internet, publicité, info-traffic ...).

2.2.5.4 Routage dans les VSNs

Il existe plusieurs types d'algorithmes de routage plus ou moins adaptés aux scénarios rencontrés dans les VANETs (voir fig. 4)

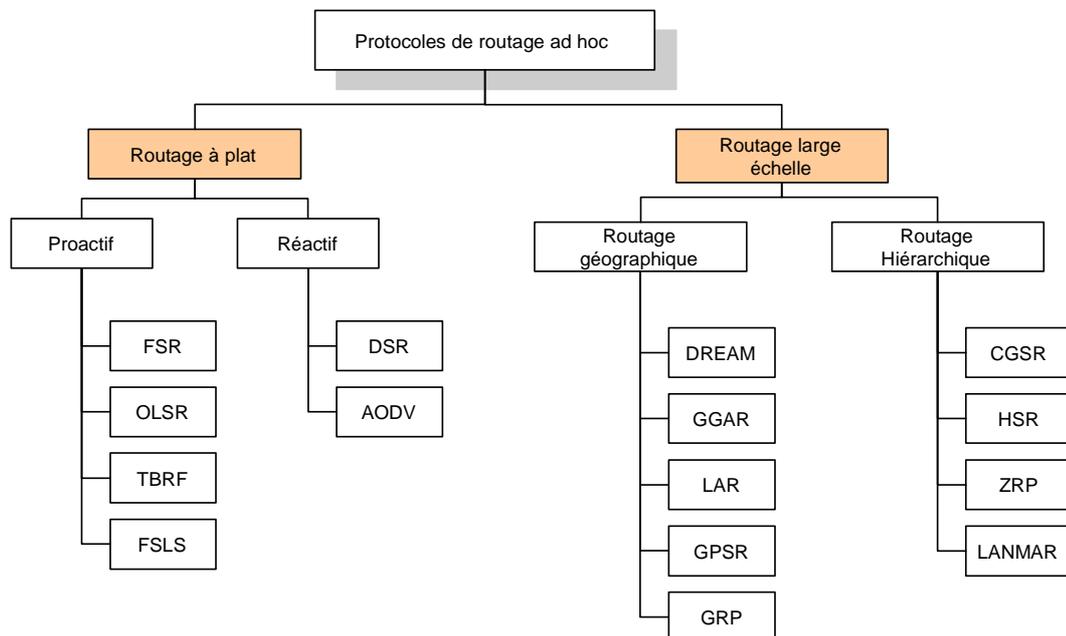


Figure 4 – Routage dans les réseaux ad hoc

Routage plat (flat routing)

Se base sur deux familles de protocoles : les algorithmes proactifs (FSR [17], OLSR [18],) ou réactifs (DSR [19], AODV [20]). Un protocole *proactif* est un protocole à état de liens qui construit et maintient une vue sur l'ensemble de ses voisins, et qui va conserver au niveau de chaque nœud toutes les routes possibles pour chaque destination dans le réseau. La route sera donc disponible immédiatement.

A l'inverse, les protocoles *réactifs* attendent qu'une route soit demandée pour essayer de la déterminer. Il faut donc un laps de temps nécessaire à la recherche du chemin.

Le routage plat a été pensé pour les MANETs, d'ailleurs, plusieurs études de performances ont été faites afin de comparer les protocoles réactifs et proactifs dans le cadre d'un réseau de véhicules, et les résultats changent suivant le modèle de mobilité et les algorithmes utilisés. Ainsi, dans [21], [22], [23] les auteurs aboutissent à la conclusion que les protocoles réactifs sont plus performants dans les VANETs. Mais avec l'amélioration des techniques de modélisation et des algorithmes proactifs, d'autres études plus récentes telles que [24], [25] ont montré que des protocoles proactifs tel que OLSR sont soit équivalents, soit plus performants que les protocoles réactifs tel que AODV, DSR.

Routage large échelle

Ce type de protocoles est spécialement conçu pour les réseaux à grande échelle, ils comportent deux grandes approches pour le routage des messages dans un réseau :

- i. **Routage géographique** : il s'agit de mécanismes de routage basés sur la position physique des nœuds. Dans ce type d'algorithme, il est nécessaire de disposer d'un mécanisme de localisation (GPS, Galileo, Serveur de localisation, triangulation, ...) pour le nœud lui-même et pour toutes ses destinations. Ce genre de protocole est particulièrement intéressant pour les

réseaux non sensibles aux délais (DTN, certaines applications des VANETs ... etc.) Il existe dans la littérature, deux utilisations pour le routage géographique :

(1) ***l'aide au routage***, dans ce cas l'information sur la localisation sert à affiner le routage qui est déjà fait par des protocoles existants, et cela à des fins d'optimisation (limiter l'overhead, le nombre de route à découvrir ... etc.). Dans [26] les auteurs proposent un protocole basé sur DSR et qui utilise le routage géographique pour réduire le périmètre de recherche des routes.

(2) ***Le routage entièrement géographique***, où le routage se fait entièrement via des informations sur la localisation, un exemple de ce type de protocole est celui proposé dans [27] où les auteurs proposent un algorithme qui utilise l'historique des croisements des nœuds afin de prédire la localisation possible du nœud destinataire. Ou encore celui proposé dans [30], où les auteurs proposent un nouveau protocole de routage géographique dans les VANET spécialement dans les cas de trafic dans une ville. Ce protocole se base sur les données temps-réel disponibles, telles que la position GPS, la vitesse, l'accélération, la densité de trafic, la structure des routes... etc. et cela afin de déterminer avec plus de précision où se trouve la destination et ainsi pouvoir choisir quelle est la meilleure route vers celle-ci.

Le routage basé sur la localisation est connu pour être très robuste en ce qui concerne le passage à l'échelle pour la taille du réseau. Il représente un bon candidat pour les réseaux VANET. Quelques travaux comme [29] l'ont bien démontré. Les auteurs ont évalué les performances de trois protocoles de routage ad hoc (AODV, DSR, et LAR). Les résultats de simulation ont montré que le routage géographique (LAR) est plus performant en termes de délai de bout en bout et de surcharge du réseau dans un environnement de type IVC.

ii. **Routage hiérarchique :**

Dans un routage hiérarchique il est question de partitionner le réseau en cluster pour une meilleure dissémination des informations de routage. Il s'agit en effet d'un routage où les nœuds ont une autorité plus ou moins importante et certains seront responsables d'une certaine zone afin de faciliter le routage. Le clustering consiste à classer les nœuds du réseau d'une manière hiérarchique suivant certains paramètres : adresse, zone géographique, capacités, etc. Un sous ensemble de nœuds est élu, d'une manière complètement distribuée, pour jouer le rôle d'un coordinateur local. Une telle approche de routage hiérarchique (ex: [28]) a comme but de réduire la taille de la table de routage qui est fonction de la structure de clustering utilisée. Un algorithme de clustering est basé sur les étapes suivantes : formation (élection) des cluster-heads, communication entre les cluster-heads, et la maintenance de ces derniers.

2.2.5.5 Dissémination et diffusion de l'information dans les VSN

La dissémination d'information consiste à acheminer une information d'une source vers une ou plusieurs destinations, en assurant un délai d'acheminement réduit, une grande fiabilité et une meilleure utilisation des ressources. Les destinations ciblées par l'opération de dissémination peuvent être caractérisées par la position, l'adresse IP, la région géographique ou autre.

Il existe des mécanismes de diffusion adaptés aux environnements IVC qui sont désormais possible notamment le multicast et la *géo-diffusion*. La *géo-diffusion* est un cas particulier du multicast dans la mesure où un nœud fait partie implicitement d'un groupe multicast en étant dans une zone géographique précise. Le groupe devient dans ce cas groupe Géocast.

Plusieurs solutions pour la dissémination des données sont proposées dans la littérature :

Solution géographique et opportuniste

Dû au partitionnement dans les VANETs, certains travaux tels que [12] ou [31] préconisent l'acheminement géographique combiné aux mécanismes d'acheminement opportuniste (Store and Forward) afin de garantir un plus grand taux d'acheminement des messages.

Dans [31] les auteurs proposent un protocole de dissémination pour VANET qui se base sur la combinaison de trois approches d'acheminement :

- **l'acheminement géographique** : dans ce type d'approche les données sont routées vers une région géographique connue afin d'arriver au plus près (géographiquement) de la destination
- **l'acheminement basé-trajectoire** : les messages dans ce type d'approches sont routés suivant une trajectoire prédéfinie (pour permettre par exemple de limiter l'overhead et le nombre de routes)
- **l'acheminement opportuniste** : ce type d'acheminement est utilisé lorsque l'on n'est pas sûr qu'il existe un lien de bout en bout entre la source et la destination. Dans ce cas les messages sont sauvegardés au niveau de chaque nœud intermédiaire avant d'être acheminés dès que l'occasion se présente vers n'importe quel nœud disponible.

Solution hiérarchique

Pour mieux acheminer les données et éviter les "tempêtes de broadcast" le flux de données doit être diffusé au moins de nœuds possibles dans sa route vers sa destination. Pour se faire, les nœuds sont vus comme un ensemble de clusters (ensemble de nœuds), où chaque cluster contient un (ou deux) nœud(s) qui s'occupent de collecter les informations au sein d'un seul cluster et de les diffuser au cluster suivant.

Cette approche est généralement utilisée afin d'augmenter la vitesse de propagation des messages et le taux d'acheminement, tout en garantissant une certaine équité.

Dans [28] les auteurs proposent un protocole en *crosslayer*, qui permet de faire du broadcast intelligent dans un VANET et cela afin de diffuser des messages d'alerte à tous les véhicules se trouvant dans une zone de risque prédéfinie, les auteurs introduisent pour y arriver deux approches :

1. l'utilisation d'un algorithme de clustering distribué pour la création d'un backbone virtuel qui permettra de limiter le nombre de nœuds qui auront le droit de faire du broadcast. Cet algorithme est optimisé pour garder plusieurs chemins disjoints au sein du backbone, de limiter le nombre de sauts dans le backbone, de garantir une

- connectivité entre les nœuds du backbone (pendant un temps prédéfini) ainsi que de limiter l'overhead engendré par la procédure de création du backbone.
2. l'utilisation d'un protocole DBA-MAC proposé dans [28] qui permet d'exploiter le backbone précédemment construit, de favoriser l'envoi rapide des messages d'alerte en broadcast ainsi que la garantie d'une adaptation à l'état du réseau et aux variations liées aux changements dans le backbone.

Solution paire à paire (P2P)

Dans l'architecture P2P (peer-to-peer), les données récoltées au niveau des véhicules via les différents capteurs ne sont pas disséminées dans le réseau, elles sont gardées dans les périphériques de stockage dans les véhicules et c'est uniquement les hachés des métadonnées des événements détectés par le nœud qui sont communiqués. Ainsi lorsqu'un nœud montre un intérêt pour cet événement, il peut récupérer l'information qui l'intéresse au près de celui qui la détient.

Dans [12], les auteurs proposent deux approches différentes pour la récolte et la dissémination des données dans un réseau VSN. Ces deux approches sont largement inspirées de la méthode de collecte d'information dans un réseau de capteurs statiques proposé dans [41] et qui adopte le concept des *Mules* qui transportent les données :

Dissémination P2P basée stations

Dans cette première approche qui est destinée aux applications sensibles aux délais, l'architecture est en P2P, avec des stations fixes qui jouent le rôle d'index distribués.

Pour sauvegarder les événements, les auteurs supposent que chaque événement a une clé dans ses métadonnées, puis chaque nœud applique une fonction de hachage avec sa position géographique et la clé de l'événement, et envoie le résultat via un routage géographique vers la station qui est responsable de sa zone (qui est connue a priori)

Pour ce qui est de la récupération des données lorsqu'un nœud le désire, il contacte la station et demande la position du nœud qui détient l'information qui l'intéresse, et c'est via un algorithme de routage géographique basé sur l'historique de rencontre des nœuds.

Dissémination P2P basée mobilité

Cette deuxième architecture est plutôt prévue pour les applications non sensibles aux délais. Elle se base sur la dissémination *opportuniste*, i.e. que lorsqu'un nœud croise un autre nœud (est dans son champ de transmission) les informations collectées pendant une période de temps prédéfinie sont envoyées au voisin. Les nœuds agents (ceux intéressés par l'événement) font constamment des requêtes à chacun des nœuds qu'ils croisent pour savoir si ces derniers ont l'événement en question dans leurs index, et ainsi les agents peuvent récupérer la donnée via un routage géographique basé sur l'historique des rencontres.

2.2.5.6 Agrégation des données dans les VSN

Il existe plusieurs mécanismes d'agrégation de données, principalement dans les réseaux de capteurs, où les données doivent circuler sur le réseau vers le(s) puits pour y être traitées. Le principe de l'agrégation de données dans un réseau de capteurs véhiculaires reste le même que dans un réseau de capteurs classique. Il s'agit d'envoyer le maximum d'information utile vers les puits de données en envoyant un minimum de messages et en utilisant le médium de communication sans fil le moins longtemps possible et cela afin d'éviter les collisions, les interférences et les tempêtes de broadcast.

Pour se faire, il faut traiter l'information reçue via une ou plusieurs des techniques suivantes :

- la compression des données
- la fusion des informations redondantes
- la suppression des informations non valides (périmées, non significative, ...etc.)
- un recodage de l'information

L'agrégation des données dans les VANETs est traitée dans la littérature à travers quatre grands axes :

Agrégation par les timestamp

Dans [38] les auteurs proposent une solution d'agrégation opportuniste pour les réseaux de véhicules basée sur les timestamp, i.e. que les nœuds envoient les données dès qu'ils en ont la possibilité, et c'est en consultant les indicateurs temporels générés lors de l'agrégation qu'est vérifiée la validité de l'information et qu'est rejetée ou non l'information.

Agrégation par ratio

Dans [36], les auteurs proposent un modèle d'agrégation pour les VANETs qui utilise un ratio pré calculé afin de définir les informations jugés similaires, ainsi, pour chaque enregistrement un coût est associé prenant en compte la distance du nœud et l'erreur introduite par l'information sur les données agrégées.

Agrégation probabiliste

Introduite par [37], ce modèle d'agrégation est très paramétrable et convient à un grand nombre de réseaux, il utilise un modèle mathématique (le *Flajolet-Martin Sketch*) pour arriver à une approximation des données similaires dans ensemble de n entités. Assez complexe à implémenter et nécessitant une bonne connaissance de la topologie pour la mise en place des paramètres.

3 Objectifs et contributions

3.1 Problématique et objectifs

Les études et travaux effectués dans le domaine naissant des VSN, ne prennent pas en compte dans le choix des architectures le fait que les réseaux à infrastructures sont les plus aptes à faire le transport des données vers l'utilisateur distant (internet, téléphone, ...) à partir du moment où les données du réseau de capteurs mobiles sont disponibles. En effet, que l'on parle de coût, de disponibilité ou de qualité des liens, les réseaux à infrastructures où les stations fixes sont déjà disponibles et installées représentent la meilleure alternative pour transmettre les données collectées du réseau VANETs vers les réseaux extérieurs afin qu'elles puissent être traitées et redistribuées.

De plus, en ce qui concerne la collecte d'informations pour les VSN, quelques solutions existent, et se basent souvent sur une architecture de dissémination en pair-à-pair, car souvent les débits ne permettent pas de diffuser de grandes quantité de données.

La problématique posée découle donc de ces deux constatations, sur le fait qu'il n'y est pas (à notre connaissance) de solutions basée opérateur, et qui reposent sur une architecture plus simple et moins contraignantes que les architecture P2P (en termes de routage, mécanismes de dissémination, etc.)

Autre aspect de la problématique, est celui du fait qu'il est trop contraignant et couteux pour un opérateur d'acheminer les informations recueillies par les véhicules directement sur son réseau.

L'objectif premier de notre travail est de réfléchir à une architecture globale pour l'implémentation d'un réseau de capteurs véhiculaires (VSN) en utilisant deux technologies sans fils, à savoir une liaison sur fréquence libre pour les communications inter-véhicules et une liaison opérateur pour le traitement et la collecte des données. Plusieurs choix devront être faits en ce qui concerne :

- le type de liaisons physique
- le protocole de routage
- le mécanisme de dissémination

Notre solution (décrite dans la section suivante) consiste en un protocole de collecte d'information appelé CGP (Clustered Gathering Protocol), combinant une approches hybrides V2V / V2I permettrait aux opérateurs d'utiliser les fréquences libre afin d'alléger leurs réseau en faisant transiter dessus des informations "sans valeur" puisqu'elles doivent être agrégées pour que l'on puisse en tirer une quelconque constatation. Ces informations agrégées seront redirigées vers l'opérateur qui s'occupera de les valoriser et de les mettre à disposition de l'utilisateur final via des services payants par exemple.

Le second objectif du stage étant la validation de cette architecture via une expérimentation sur simulateur. Cette phase d'expérimentation consiste en une série de mesure dans différents scénarios afin d'évaluer les performances et la validité de l'architecture.

3.2 Solution proposée : Clustered Gathering Protocol – CGP

Dans ce qui suit, nous allons décrire **CGP** (*Clustered Gathering Protocol*) ou Protocole de Collecte par Clustering. Cet algorithme synchrone et entièrement distribué se divise en plusieurs étapes qui aboutiront à la transmission des informations collectées par les véhicules vers une station fixe.

L'objectif de CGP étant la collecte et l'agrégation d'informations (position, vitesse, orientation ... etc.) afin de les transmettre vers des stations fixes, dans le but d'avoir un retour sur le trafic routier en temps réel dans une zone donnée.

L'architecture unidirectionnelle est plus simple à implémenter que l'architecture P2P, mais implique certaines contraintes sur le réseau. Elle consiste en l'utilisation de stations fixes déployées sur le réseau routier (bornes Wifi, Wimax, GSM, UMTS ...) afin de récupérer et traiter les différentes mesures récoltées par les véhicules afin de les rendre disponibles via Internet ou un service opérateur par exemple.

Le cycle de parcours de l'information est globalement décrit comme suit :

1. capture de l'information
2. agrégation local des données mesurées <Identifiant, position, température, vitesse, accélération, détection pluie, direction, niveau d'essence, ... >
3. transmission des données **si** station détectée : envoi direct **sinon** envoi en multi-sauts opportuniste
4. station de base envoi l'information au niveau opérateur
5. traitement de l'information niveau serveur
6. restitution de l'information sous forme de service opérateur, après utilisation de toutes les données récupérées via le VSN.

Il faut comprendre que les données recueillies au niveau de chaque véhicule ne sont pas utiles individuellement, c'est l'agrégation de toutes les données d'une zone géographique qui permet d'avoir une vision sur le trafic routier. Par exemple, un ralentissement au niveau d'un segment ne veut pas forcément dire qu'il ya un ralentissement au niveau de toute la route. Par contre si l'opérateur via toutes les informations récoltées observe un ralentissement sur plusieurs kilomètres il peut en déduire qu'un incident a eu lieu.

3.2.1 Architecture de CGP

Afin de concevoir un protocole qui puisse garantir une collecte optimale de l'information au sein d'un réseau qui peut monter en échelle, et vu le modèle de distribution des nœuds ainsi que leur mobilité, nous avons choisi comme mécanisme de dissémination V2V, la méthode hiérarchique et la méthode géographique pour les communications V2I.

Comme vu précédemment, l'approche par clusters permet de limiter les tempêtes de broadcast et ainsi d'éviter au maximum les collisions qui dans ce type de réseau peuvent faire chuter le taux d'acheminement des messages et cela à cause du partitionnement inhérent aux réseaux de véhicules. D'autant plus que l'équité nécessaire dans un réseau de capteurs impose des taux d'acheminement élevés et cela afin d'avoir des mesures fiables et représentatives.

En ce qui concerne la communication entre véhicule et infrastructure, nous avons opté pour une dissémination géographique pour l'acheminement des messages vers les RSU (RoadSide Units). Et cela dans la mesure où un nœud connaît à chaque instant sa propre position et celle de la station fixe, ainsi, le trafic sera toujours orienté (géographiquement) vers la station fixe la plus proche dans le sens ou avancent les nœuds. Le tableau ci-dessous montre que l'approche hiérarchique est la plus adéquate pour notre application :

	Clustering	P2P	Diffusion classique	Géographique + Opportuniste
avantages	Limite le broadcast Idéal pour le trafic montant Collecte et agrégation niveau cluster Minimise le nombre de messages envoyés Stabilité et passage à l'échelle Convient au MP2P Équité du trafic Fort taux d'acheminement	Idéal pour un grand volume de données Réduction significatives des broadcasts Minimise le nombre de messages envoyés	Facilité de déploiement	Idéal pour un réseau partitionné Limite le broadcast
inconvénients	Nécessité de maintenir les clusters Overhead dû au message d'élection de cluster head	Pas d'agrégation de données Pas de dissémination	Génère des tempêtes de broadcast Ne passe pas à l'échelle Ne garanti pas l'équité	Ne garanti pas l'équité Créer des goulots d'étranglement (dans notre cas)

3.2.2 Environnement

CGP utilise le Clustering géographique pour collecter et disséminer les messages. Pour ce faire, la route est décomposée en plusieurs segments (voir fig. 2) de longueur équivalente. Dans chaque segment est élue une tête de cluster (*Cluster Head*). Ce cluster head s'occupera de récolter les informations au niveau de son segment, et de les envoyer au segment suivant dans la direction de la RSU la plus proche dans le sens d'avancement des nœuds. Pour chaque RSU un nombre de segments est défini, l'ensemble des segments assignés à une RSU représentera la zone de capture de la station.



Figure 5 - Segmentation d'une route pour CGP

Pour pouvoir s'exécuter CGP impose quelques contraintes :

1. les véhicules doivent être équipés de cartes 802.11 pour la communication inter véhicules et d'un équipement pour communiquer avec les stations de l'opérateur (GSM, UMTS, WiMax etc.)
2. les véhicules doivent être équipés de GPS pour leur localisation et leur synchronisation
3. les véhicules doivent avoir une connaissance de la carte routière de la région ainsi que de l'emplacement de toutes les stations fixes
4. un nœud doit pouvoir calculer sa vitesse, son orientation et sa position. Donc doit être équipé du matériel nécessaire pour ce genre de calcul
5. les nœuds doivent être synchronisés (via les GPS)
6. les stations fixes sont utilisées pour la transmission des données vers l'opérateur
7. la dissémination se fait en multipoints à point (MP2P des véhicules vers les stations)

8. c'est via les communications en V2V que la collecte et l'agrégation de l'information se font
9. le trafic est asymétrique (montant)
10. le réseau peut connaître un partitionnement

3.2.3 Vue générale du protocole

La figure 4 montre les étapes que suit CGP durant son exécution. Chaque étape commence périodiquement et dure une période prédéfinie :

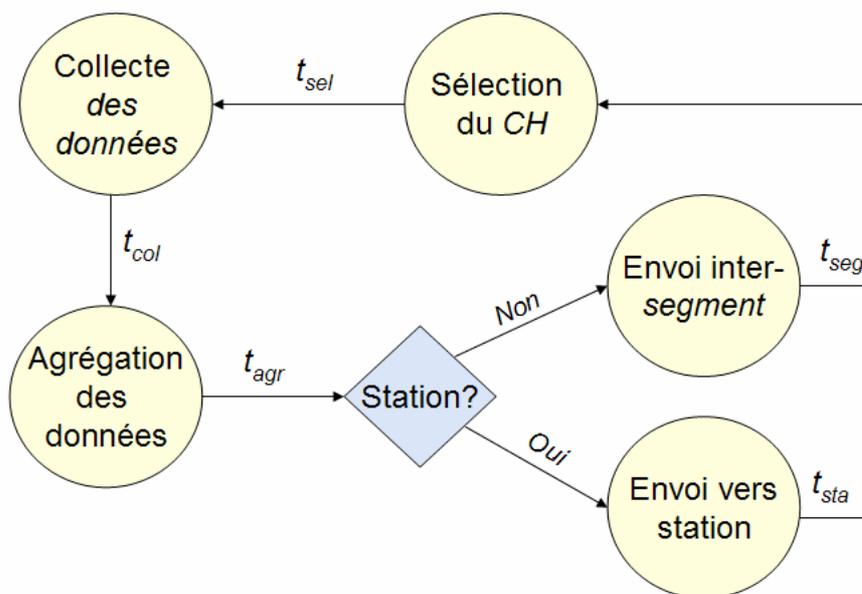


Figure 6 - Vue générale de CGP

Voici le détail du déroulement de l'algorithme de CGP :

1. Election du Cluster Head (figure 7)

Durant cette période, les nœuds exécutent un algorithme de sélection de cluster head (CH) :

- Chaque nœud se considère comme CH jusqu'à ce qu'il reçoive l'annonce d'un autre nœud se trouvant dans une meilleure position que lui (plus proche de la RSU et de la fin de segment)
- Les nœuds utilisent un temps de back-off aléatoire pour annoncer qu'ils sont CH à leurs nœuds voisins
- Dès qu'un nœud i reçoit une annonce d'un autre nœud j : si ce dernier a une meilleure position, le nœud i annule l'envoi de son annonce.
- Le calcul de la durée du backoff est défini en fonction de la position du nœud dans le segment et de sa position future à la fin de la période de collecte :

$$t_{backoff}(i) = Rand(0, t_{collecte}) + Priority(Pos(i,t), seg_end)$$

- Chaque nœud prend en compte sa position future à la fin du temps de vie d'un CH pour décider s'il est éligible

$$Pos(i, t + t_{selection}) > seg_end \Rightarrow i \neq CH$$

- La fin de la phase de sélection de CH a lieu après une période prédéfinie $t_{selection}$
- L'annonce d'un nœud envoyée par broadcast contient son identifiant, sa position et un timestamp.

Avec :

$t_{backoff}(i)$: représente le temps de backoff du nœud i

$Rand(x,y)$: est une fonction qui retourne un nombre aléatoire entre x et y suivant une distribution uniforme comprise entre x et y

$Priority(x, Seg_end)$: fonction qui retourne une période corrélée avec la priorité d'un nœud en comparant sa position x avec la position de la fin du segment en cours, ainsi, plus un segment est proche de la fin de segment plus sa cette période sera courte

$Pos(i,t)$: retourne la position d'un nœud i à l'instant t

$t_{sélection}$: durée de sélection du cluster head

$t_{collecte}$: durée de collecte des information intra-segment

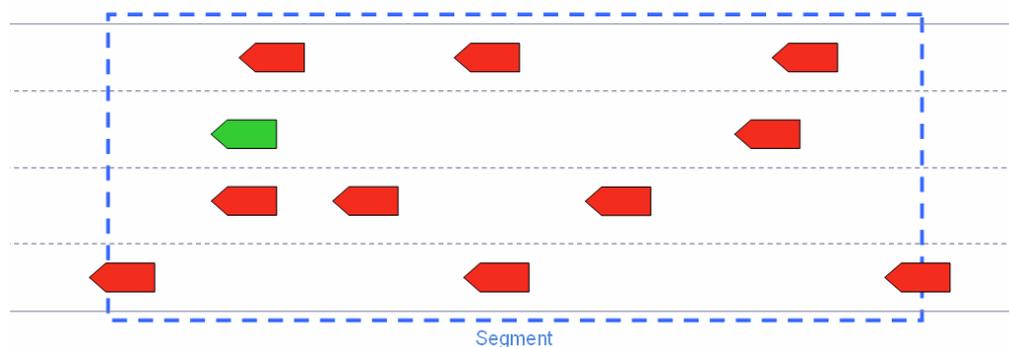


Figure 7 – Election du Cluster Head

2. Collecte locale des données

Pendant cette phase qui dure $t_{collecte}$, les nœuds d'un même segment connaissant l'adresse du cluster head, lui envoient (voir figure 8) en unicast les données récupérées par les capteurs **[vitesse, accélération, position, timestamp, direction]**.

Pour ce faire les nœuds utilisent un mécanisme similaire au DCF (Distributed Coordination Function) disponible dans 802.11 :

- chaque nœud attend un temps de backoff aléatoire
- à la fin du temps de backoff, le nœud envoie un RTS (Request To Send) au cluster head
- le cluster head acquitte le RTS via un CTS (Clear To Send)
- le nœud envoie les données au cluster head

Afin de limiter le nombre d'envoi vers la station fixe, chaque nœud envoie un historique (de période t_{hist}) de ses mesures.

Durant la période de collecte, on est sûr que le cluster head ne quitte pas le segment, car lors de son élection, le nœud avait calculé son éligibilité.

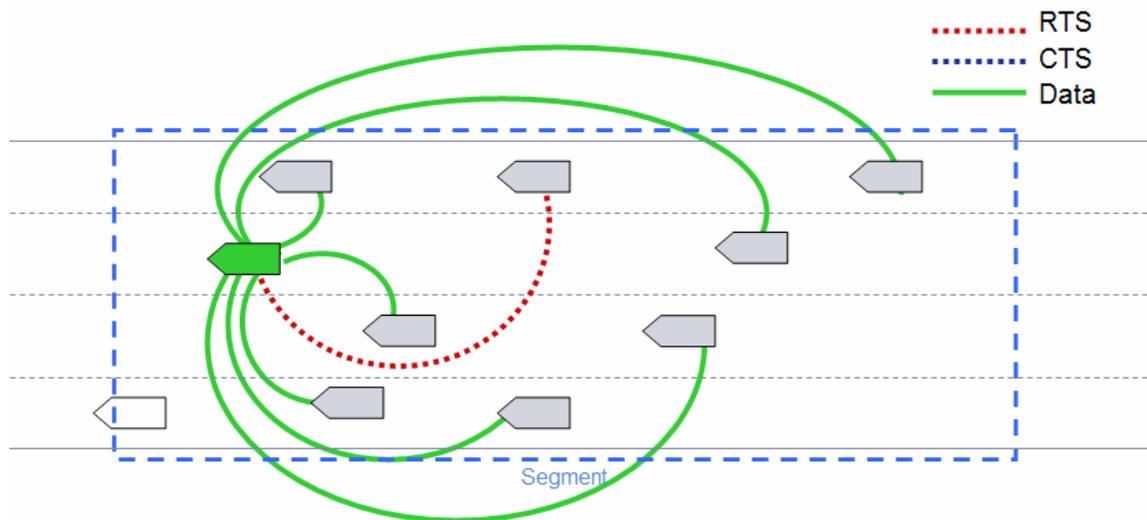


Figure 8 – Collecte locale des données

3. Agrégation des données

Chaque cluster head doit pouvoir récupérer pendant la période de collecte locale toutes les informations récoltées dans chaque véhicule de son segment. Ainsi il pourra y agréger ses propres données et calculer l'état du trafic dans son segment.

L'agrégation des données comprend les tâches suivantes :

- Suppression des informations superflues (véhicules en sens inverse, hors segment ...)
- Suppression des informations périmées (via les champs timestamp)
- Mise à jour des informations sur les voisins et cela en estimant certaines valeurs comme les positions, la vitesse ... etc.

Pendant la phase d'agrégation, le cluster head calcul le nombre de nœuds qui sont dans son segment, la vitesse moyenne dans son segment ainsi que l'identifiant du segment dans lequel il se trouve.

4. Envoi vers la station fixe (RSU)

Deux cas de figures se posent à un cluster head lorsqu'il finit sa période d'agrégation :

- **Le segment du cluster head est le plus proche de la station** : dans ce cas, le nœud envoie les données agrégées via la liaison de l'opérateur à la RSU.
- **Le segment du cluster head n'est pas le plus proche de la station** : dans ce cas, le nœud essaie d'envoyer ses données vers le segment suivant (le segment le plus loin en premier, et le plus proche en dernier) et attend un acquittement du cluster head suivant.
 - ⇒ **Si le cluster head suivant acquitte l'envoi** : le cluster head ne fait rien.
 - ⇒ **Sinon** : suivant la stratégie adopter (paramétrage du protocole) le nœud enverra directement ses données à la station fixe ou fait du Store & Forward

a. Envoi inter-segments

Lorsque le segment d'un CH n'est pas le plus proche de la station fixe, le nœud envoie au segment suivant les données (figure 9) qu'il a collecté (vitesse moyenne, nombre de nœuds dans le segment, direction), et cela en broadcast (car il ne connaît pas à priori l'adresse du CH suivant). Un cluster head qui reçoit le message, y agrége ses propres informations, en recalculant la vitesse moyenne et le nombre global de nœuds.

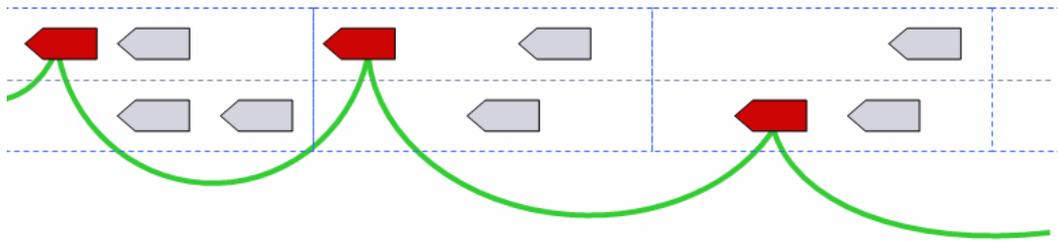


Figure 9 – Envoi inter-segments

b. Envoi direct

L'envoi direct vers la station peut avoir lieu dans deux cas. Quand le nœud ne trouve pas de CH dans le segment suivant ou lorsqu'il est dans le segment le plus proche de la station.

Dans les deux cas le nœud agrège ses informations dans le message reçu et l'envoi à la station fixe (voir figure 10) via une liaison d'opérateur (GSM, UMTS, WiMax ... etc.) Ainsi la station s'occupera d'acheminer les données collectées sur plusieurs segments de route à l'opérateur, qui en les intégrant avec d'autres données pourra avoir une vision en temps réel et réaliste de l'état du trafic routier dans une zone donnée.

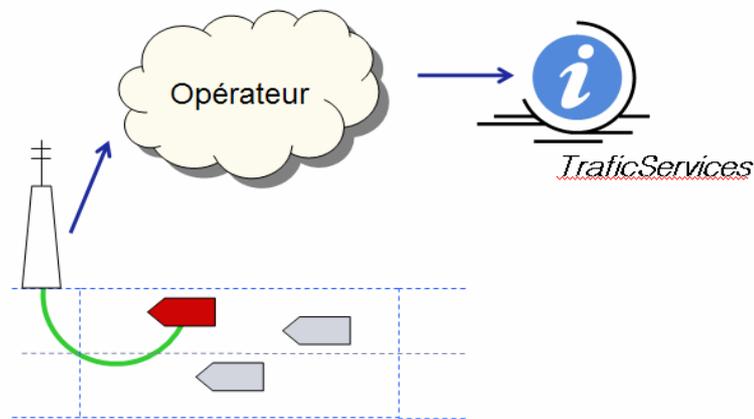


Figure 10 – Envoi direct vers la station

c. Store & Forward

Un nœud qui fait du *store & forward* se trouve forcément dans un segment éloigné de la station fixe (ex. figure 11), de plus il n'arrive pas à envoyer ses données au cluster head suivant (parce que le segment suivant est vide, ou par ce qu'il ya des interférences par exemple). Dans ce cas le nœud en question garde les données en mémoire pendant une durée prédéfinie (durée de validité des données) et les enverra dès qu'il pourra joindre le cluster head suivant ou qu'il sera dans le segment le plus proche de la station.

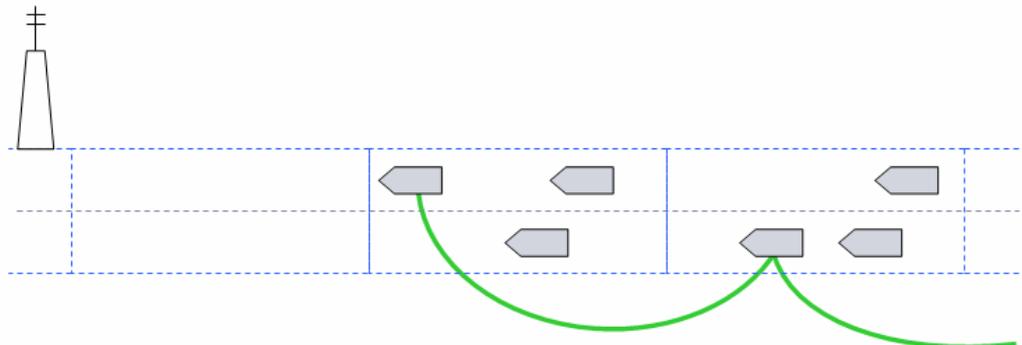


Figure 11 – Store & forward

Remarque : dans les deux cas précédents si le nœud n'a pas assez d'information, ou qu'il est seul dans son segment, les données ne seront pas envoyées à la station et cela pour réduire les communications opérateurs.

3.3 Implémentation et simulation de CGP

Afin de tester le comportement et les performances de CGP, nous avons choisis d'effectuer une implémentation sur simulateur QualNet 4.5 (voir Annexe), en intégrant le code source de CGP dans le noyau du simulateur en C++. CGP est un protocole qui se situe entre la couche Réseau (couche 3) et la couche Transport (couche 4), il est implémenté dans Qualnet en utilisant un adressage IP sur du 802.11b.

Le code source de certaines parties de Qualnet est modifiable afin d'y intégrer des protocoles propriétaires et de pouvoir les tester. Pour intégrer CGP dans Qualnet, il a fallu créer 3 fonctions d'interface avec les différentes bibliothèques que propose le simulateur :

1. Fonction d'initialisation

Cette fonction s'exécute à la création de chaque nœud, elle permet de charger les paramètres définis dans le fichier de configuration (file.config) dans les variables. Elle permet aussi d'initialiser la pile protocolaire. En la modifiant, on peut y intégrer et initialiser le protocole développé (CGP). Les différentes valeurs des statistiques réseaux sont aussi initialisées dans cette fonction.

A la fin de cette fonction, on initialise les temporisateurs qui serviront à délimiter les différentes phases du protocole CGP. En effet, quand l'un de ces temporisateurs arrive à zéro, il déclenche un événement dans le noyau du simulateur, qui sera géré dans la fonction suivante.

2. Fonction de gestion des événements - *CgpHandleProtocolEvent*

Dans Qualnet, un événement est déclenché à chaque fois qu'un temporisateur arrive à zéro. Cette fonction est donc appelée à chaque fois qu'une phase de CGP se termine (et donc recommence). Ainsi, les traitements nécessaires sont faits pour chaque phase de CGP :

a. L'élection de cluster head

Quand le temporisateur qui annonce le lancement d'une nouvelle élection de cluster head arrive à zéro, la FGE (fonction de gestion des événements) lance plusieurs autres fonctions qui permettent entre autre le calcul du backoff pour l'envoi des messages d'annonce de cluster head ou encore La planification d'émission des messages en les mettant dans la files d'envoi de la couche inferieure.

b. La collecte des données intra segment

Au début de cette phase la FGE s'occupe d'envoyer le message en unicast en utilisant le mécanisme cité en section 8.4.2.

c. L'agrégation des données

Cette partie du code s'exécute uniquement sur les nœuds cluster head. La fonction de gestion des événements calcule les différentes valeurs que le nœud (CH) a reçu de la part de ses voisins de segment (vitesse moyenne, nombre de nœuds ...etc.)

d. Les communications inter segment

Durant cette événement, le nœud (cluster head) envoi les données agrégés vers le segment suivant en broadcast, et attend pendant une certaine période un acquittement.

3. Fonction de gestion des réceptions - *CgpHandleReply*

Cette fonction est appelée à chaque fois qu'un nœud reçoit un paquet. Dans CGP, le traitement diffère selon le type de paquet reçu. Elle comprend aussi quelques compteurs qui seront utilisés pour l'affichage des statistiques de simulation.

Types de paquets dans CGP

- **CHA_PKT** : ce sont les paquets d'annonce de cluster head. Ils contiennent en plus des champs IP classiques les données de positionnement, d'orientation et d'identification des nœuds.
Lorsqu'un paquet CHA_PKT est reçu par un nœud, ce dernier effectue l'algorithme décrit en 8.4.1 et décide si le nœud émetteur est (ou pas) cluster head.
- **DATA_PKT** : ce sont les paquets envoyés par les nœuds d'un segment à leur cluster head (voir section 8.4.2) ils contiennent des valeurs comme la position, la vitesse, la direction ...
- **AGG_PKT** : ce sont les paquets échangés entre les clusters head de chaque segment (voir section 8.4.4)
- **ACK_PKT** : ce sont les paquets d'acquittement qui prouve qu'un segment a bien reçu les données du segment précédent, ce qui lui permet de ne pas faire de store & forward

4. Fonction de finalisation - *CgpFinalize*

Cette fonction est appelée à la fin de la simulation, elle permet d'imprimer les résultats de la simulation dans les fichiers result.stat

5. Autres fonctions

D'autres fonctions ont été implémentées pour la bonne exécution des simulations :

- **CgpBroadcastMessage** : elle permet d'encapsuler les données dans un paquet IP et de les mettre dans le Scheduler qui l'enverra vers la couche MAC après un délai prédéfini
- **Cgp4MacLayerStatusHandler** : cette fonction qui réagit à un signal envoyé par la couche mac pour signifier une défaillance pour la décapsulation d'une trame
- **CgpSetTimer** : permet de définir des temporisateurs qui serviront à déclencher des événements

3.3.1 Paramètres et environnement de simulation

3.3.1.1 Répartition des nœuds et modèle de mobilité

Dans Qualnet, il est possible de choisir entre plusieurs types de modèles de mobilité proposés par Scalable Networks Technologies, (1) *Pedestrian* : pour simuler la mobilité des piétons, (2) *Group mobility* : pour que plusieurs nœuds puissent bouger avec le même modèle de mobilité, (3) *Random Waypoint* : où chaque nœud bouge à une vitesse et dans des directions aléatoires ou (4) *File-input* : dans ce cas la disposition des nœuds et leurs mouvements sont définis par un fichier externe (nodes.mobility) qui permet à Qualnet de connaître à chaque instant la position exacte d'un nœud.

Pour définir au mieux un modèle de mobilité qui simule un trafic routier réel (vitesse, feux tricolores, mobilité sur plusieurs voies ...etc.), nous avons eu recours à l'utilisation de **VanetMobisim** (*The Vehicular Ad Hoc Networks Mobility Simulator*) proposée par [39], qui est

une extension d'une plateforme développée en JAVA par l'université de Stuttgart [40] et qui propose un certain nombre de modèles de mobilité, des parseurs pour les sources de données géographiques et des interfaces de visualisation 2D.

La création du fichier de mobilité (nodes.mobility voir figure 16) nécessaire pour l'exécution de Qualnet, demande la construction d'un fichier XML, qui contiendra les paramètres du modèle, tels que :

- La dimension de l'univers de simulation
- Le nombre de nœuds, et leurs distributions initiales
- Le type de nœuds (voitures, bus, camion ... etc.)
- La vitesse maximale et minimale d'un ou de plusieurs nœuds
- Les durées maximales d'arrêt d'un nœud
- Etc.

Exemple

```
< node id="#0">
  <position random="true"/>
  <type="ped"/>
  <extension class="de.uni_stuttgart.informatik.canu.mobisim.mobilitymodels.RandomWaypointWalk">
    <minspeed>0.56</minspeed>
    <maxspeed>1.39</maxspeed>
    <minstay>120</minstay>
    <maxstay>600</maxstay >
  </extension>
</node>
```

Une fois le fichier XML construit, et après l'exécution de VanetMobisim, un fichier Mobility.tr est généré, ce fichier sera en suite traité via des scripts Awk que nous avons programmé, afin d'en modifier la structure pour qu'il soit compatible avec Qualnet 4.5.

```
50 12 ( 2344.7259279317223 , 2500.0 , 6.373692 )
51 12 ( 2180.2391768607777 , 2500.0 , 4.529637 )
52 12 ( 1304.613775992766 , 2500.0 , 2.0096722 )
53 12 ( 2380.2340422174893 , 2500.0 , 4.5349836 )
54 12 ( 519.7655386873521 , 2500.0 , 4.5345054 )
55 12 ( 2419.7631694900338 , 2500.0 , 4.531123 )
56 12 ( 904.6143509389367 , 2500.0 , 2.0098517 )
57 12 ( 2780.2395882143173 , 2500.0 , 4.531765 )
58 12 ( 2044.0839177463204 , 2500.0 , 6.1202493 )
59 12 ( 1803.8648289628327 , 2500.0 , 1.2831073 )
60 12 ( 1595.3857798827812 , 2500.0 , 2.0098243 )
61 12 ( 2080.3145604382735 , 2500.0 , 4.479785 )
62 12 ( 1219.7662644204684 , 2500.0 , 4.5344443 )
63 12 ( 1118.3383564108517 , 2500.0 , 4.1071196 )
64 12 ( 2795.3861371031962 , 2500.0 , 2.0096326 )
```

Figure 12 – Exemple d'un fichier de mobilité

3.3.1.2 Environnement spatial

Nous avons choisis pour tester CGP de l'exécuter sur un tronçon de route en **ligne droite** et en **double sens**, d'une longueur de **1,8 Km** et d'une largeur de **15 mètres**. Cette route contient à son bout une station fixe WiMax qui recouvre l'intégralité des 1,8 km (figure 17), elle est découpée en **18 segments** de **100 mètres** chacun.

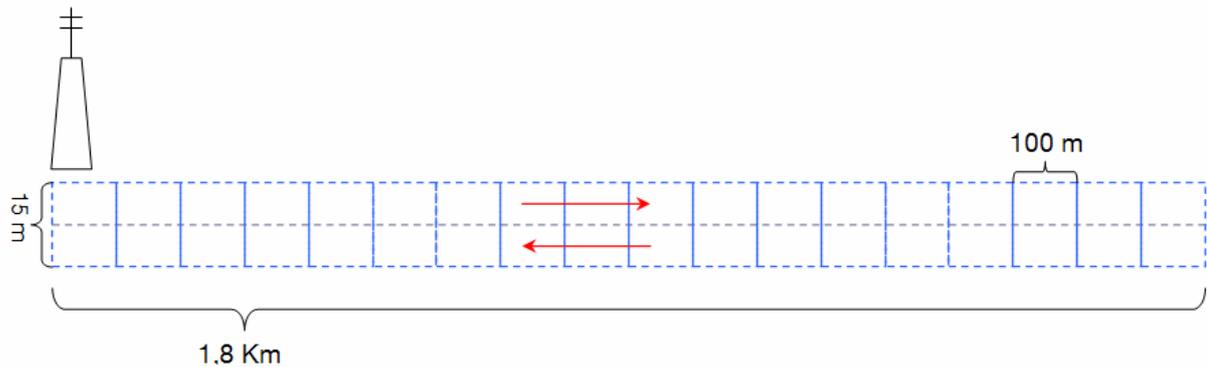


Figure 13 – Environnement spatial de simulation

Dans la suite de notre travail, nous testerons CGP sur des environnements urbains plus réalistes.

3.3.1.3 Paramètres de CGP

Pour configurer CGP, il faut spécifier les durées des différentes phase qui le composent :

- **CGP_FULL_DURATION** : durée totale d'un cycle CGP, i.e. à partir de l'élection du cluster head, jusqu'à ce que le segment le plus proche de la station envoie ses données agrégés. Elle est définie à **5 seconde**.
- **CGP_CHD_DURATION**: durée de la phase de détection du cluster head, elle vaut **0.5 seconde**
- **CGP_GATH_DURATION**: durée de la phase de collecte des données, elle vaut **1 seconde**
- **CGP_AGG_DURATION**: c'est la durée de la phase d'agrégation, elle dure un temps négligeable vu qu'il n'y a pas d'envoi de message durant cette période et qu'elle est exécutée sur le processeur du cluster head
- **CGP_DISS_DURATION**: durée de transmission inter segment (avec les ACK), elle vaut **0.5 seconde** et elle contient aussi la durée de transmission vers la station
- **CGP_WAIT_ACK** : période pendant laquelle un nœud attend un ACK, avant qu'il ne décide de faire du *store & forward* ou d'envoyer ses données vers la station, par défaut, elle vaut **1 seconde**
- **CGP_RELEVANT_DATA_RATIO** : cette valeur permet à un nœud de savoir s'il a assez d'information pour envoyer ses données à la station

3.3.1.4 Scénarios de simulations

Nous avons réfléchi à trois types de scénarios possibles afin de vérifier le gain qu'apporte l'utilisation de CGP à un réseau de capteurs véhiculaires, dont le but est de mesurer l'état du trafic en temps réel via des liaisons V2V et V2I.

Nous testons CGP en faisant plusieurs simulations, chacune dure 600 secondes, en faisant varier le nombre de nœuds (50, 100, 150, 300 et 1000).

Scénario 1 : Envoi par nœuds

Dans ce scénario, les nœuds envoient périodiquement (chaque seconde) et individuellement leurs informations (position, vitesse, direction ... etc.) à la station fixe en utilisant le réseau de l'opérateur (voir figure 18). L'agrégation dans ce cas, se fait au niveau de l'opérateur.

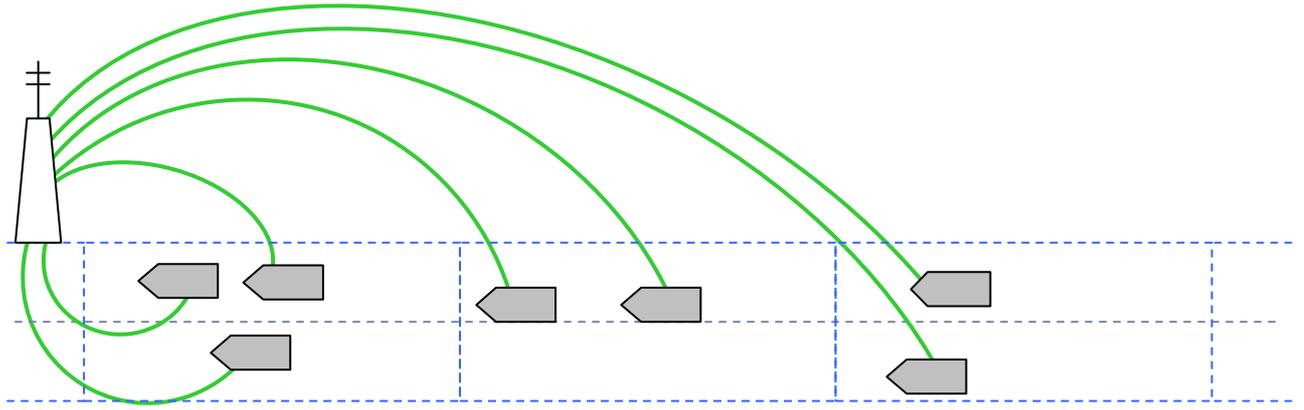


Figure 14 – Scénario 1

Scénario 2 : Envoi par cluster head

Dans ce cas, la collecte d'information se fait au niveau de chaque segment en utilisant les deux premières étapes de CGP (élection et collecte) puis le cluster head, après avoir agrégé les données de son segment (calcul de la vitesse moyenne et du nombre de nœuds) il envoie l'information agrégée localement à la station fixe via le réseau de l'opérateur. L'opérateur n'aura plus qu'à agréger les données récoltées dans chaque segment. (voir figure 19)

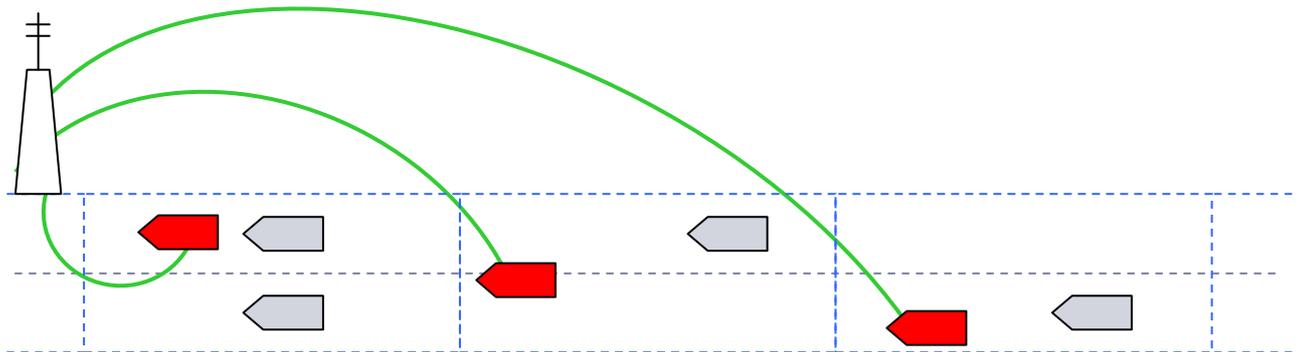


Figure 15 – Scénario 2

Scénario 3 : Envoi par segment unique

Dans ce dernier cas, CGP est exécuté jusqu'au bout, i.e. qu'il passe par toutes les étapes qui le constituent : l'élection des clusters head, la collecte local, l'agrégation, l'envoi inter-segment et l'envoi vers la station. (voir figure 20)

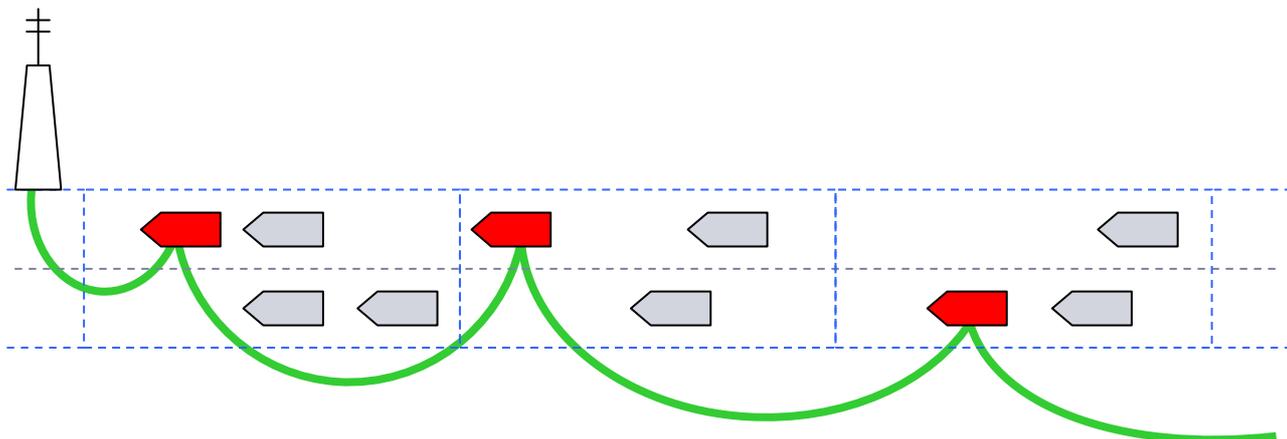


Figure 16 – Scénario 3

3.4 Résultats des simulations

Les paramètres de performances que nous avons étudiées sont :

1. Nombre de messages envoyés en V2I (vers la station)
2. Nombre de messages envoyés en V2V (dans le réseau de véhicules)

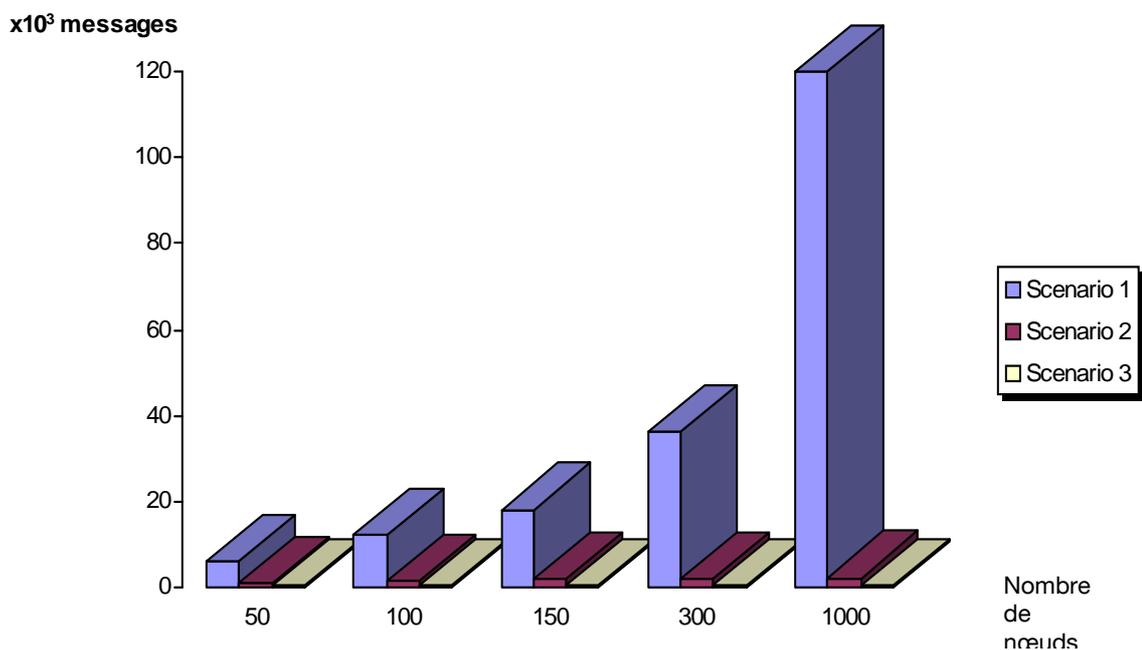


Figure 17 - Résultats de simulation

Dans ce premier graphique (figure 21) on voit la différence nette qui existe entre le scénario 1 où les nœuds envoient chacun leurs données directement vers l'opérateur, et les scénarios V2V où les nœuds utilisent le réseau VSN pour envoyer les données.

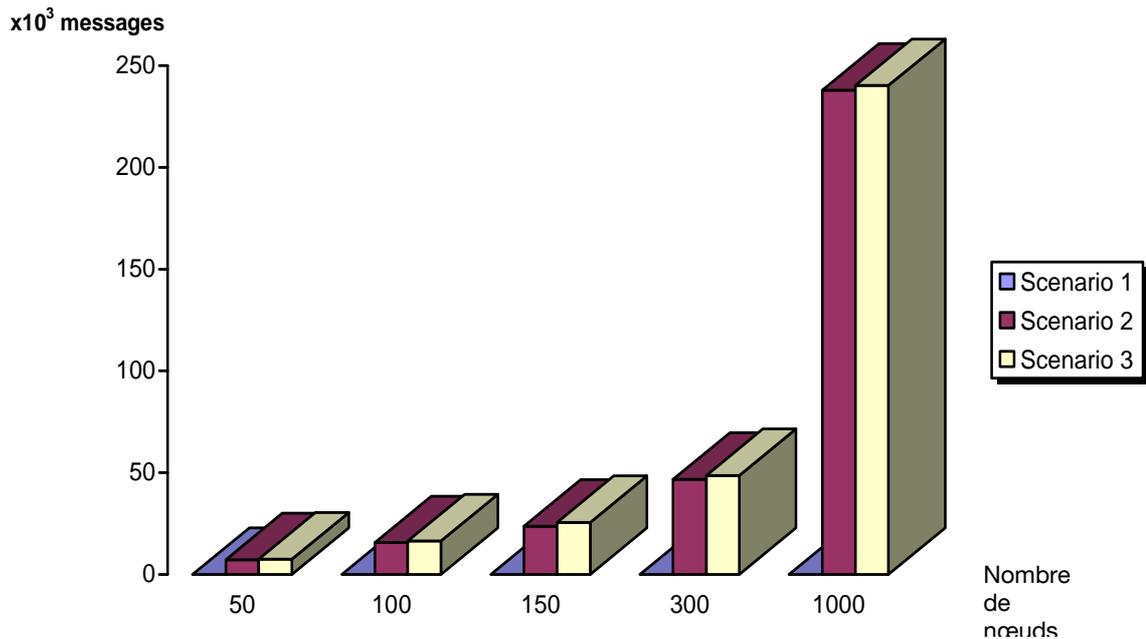


Figure 18 - Résultats de simulation

Dans ce graphique (figure 22) on peut voir que l'essentiel du trafic et des données sont transmis en V2V, et que la différence entre les scénarios 2 et 3 est infime.

Ainsi, on voit très bien à partir des figures 21 et 22 que le gain en messages envoyé sur le réseau de l'opérateur est très grand. Et que les scénarios 2 et 3 sont largement préférables si l'on veut réduire au maximum les connexions avec l'opérateur.

3.5 Résultats avec un modèle mathématique simple

Soit un réseau avec S segments et N nœuds (tel que $N \geq S$)

Soit $M(x)$ le nombre de messages envoyés à la station fixe en x secondes. En supposant que les nœuds sont uniformément répartis sur l'ensemble de la route, et qu'il n'existe pas de segment vide.

Pour l'application numérique on utilisera les valeurs suivantes :

$N = 1000$, $S = 18$, $t = 5$, $T = 600$

Scénario 1 : Si les nœuds envoient un message à la station chaque t secondes, au bout de T secondes, on aura : $M(T) = N * (T/t)$

Scénario 2 : Si chaque segment envoie un message à la station chaque t secondes, au bout de T secondes on aura : $M(T) = S * (T/t)$

Scénario 3 : Si on utilise CGP idéalement, sans aucun segment vide, on a : $M(T) = (T/t)$

Application numérique :

	N = 50	N = 100	N = 150	N = 300	N = 1000
Scénario 1	6 000	12 000	18 000	36 000	120 000
Scénario 2	2 160	2 160	2 160	2 160	2 160
Scénario 3	120	120	120	120	120

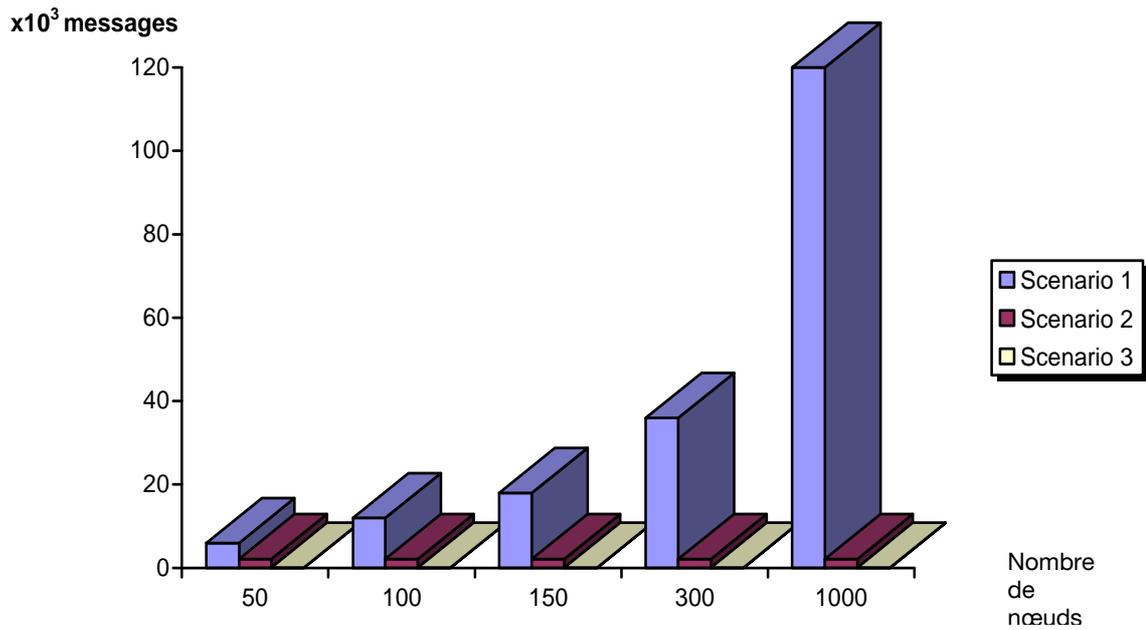


Figure 19 - Résultats du modèle mathématique

A partir des résultats de simulation et du modèle mathématique (voir figure 23), on peut rapidement déduire l'apport significatif de CGP en termes de réduction de nombre de messages envoyés et d'utilisation du réseau de l'opérateur. De plus, plus le nombre de nœuds augmente plus l'écart entre les différents scénarios est important. Cela se justifie par le fait que le nombre de messages dans le scénario 1 suit un courbe linéaire, alors que dans les deux scénarios restants le nombre de messages reste fixe.

2. Conclusion et perspectives

Les réseaux de capteurs véhiculaires sont des réseaux qui permettent de récolter des informations rendues disponibles grâce aux nombreux dispositifs de capture maintenant proposés dans les véhicules récents. Ce type de réseaux peut être particulièrement intéressant pour un opérateur de télécommunication tel que France Telecom. En effet, fort de son réseau sans fil largement déployé, un opérateur pourrait utiliser les VSN afin de traiter des données inutiles individuellement, telles que la vitesse ou la position géographique d'un véhicule, afin de les agréger et d'en extraire des informations utiles telles que l'état du trafic routier.

Pour arriver à ce genre de solution nous avons conçu une architecture protocolaire qui permet de combiner les communications V2V et V2I afin de permettre à un opérateur d'utiliser au minimum son réseau et d'effectuer une collecte d'informations qui permettrait de déduire en temps réel l'état du trafic routier dans une zone géographique donnée.

Nous avons donc proposé CGP (Clustered Gathering Protocol), un protocole situé entre la couche réseau et transport, et qui utilise le concept de dissémination hiérarchique et géographique afin de collecter et d'agréger un maximum d'information entre les véhicules, pour les envoyer vers le réseau de l'opérateur.

Nous avons ensuite implémenté CGP dans un environnement de simulation (Qualnet), en utilisant un outil de génération des modèles de mobilité (VanetMobisim), et testé ses performances par rapport à d'autres solutions via le simulateur et un modèle mathématique simple.

Les résultats ont montré un gain significatif lors de l'utilisation du protocole CGP par rapport à une collecte individuelle où chaque nœud aurait envoyé ses propres données.

Etant donné, que le stage n'est pas encore terminé, nous allons pendant le mois qui suit, continuer notre travail sur les simulations et l'affinage des paramètres de CGP, dans la perspective de confirmer les bons résultats qu'offre la solution et afin d'en tester les performances dans des scénarios plus diversifiés avec des environnements plus réalistes et une étude des performances plus détaillée.

3. Bilan personnel

A travers ce stage, j'ai pu comprendre et assimiler les différentes étapes par lesquelles un projet de recherche doit passer. Même si le déroulement d'un stage ne dure que six mois, cette expérience m'a permis d'entrevoir les méthodes de travail d'un chercheur, à savoir, une connaissance approfondie et continue du domaine étudié et un intérêt constant pour les publications et les nouvelles techniques et idées. Autre aspect que j'ai pu apprécier en travaillant dans un laboratoire de recherche & développement en entreprise, est le fait de mêler la recherche et l'ingénierie.

J'ai aussi eu l'occasion de travailler en collaboration avec l'équipe du laboratoire, en contribuant à la rédaction d'un *white paper* sur les réseaux de véhicules et en participant à plusieurs séances de brainstorming sur les scénarios et applications des VANETs qui pourraient intéresser l'opérateur. Autre aspect formateur et fort intéressant sur lequel je travaille encore actuellement, est celui de la rédaction d'un article qui sera soumis à une conférence en anglais au courant du mois de septembre.

Les réseaux de véhicules et les systèmes de transport intelligents ne sont qu'à leurs balbutiements, à termes, ce domaine révolutionnera nos vies quotidiennes, avoir travaillé et donner ma vision sur cette technologie m'a permis d'être au courant des nouvelles techniques et de peut être, continuer à travailler sur le sujet durant mon projet professionnel.

Références

- [1] groupes de travail IEEE 802.11, 802.15, 802.16, 802.21
- [2] Wei Ye, J. Heidemann, D. Estrin, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks, IEEE Infocom, 2002
- [3] Fan Ye, G. Zhong, Songwu Lu, Lixia Zhang, PEAS: a robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks, ICDCS, 2003
- [4] Issa Khalil, Saurabh Bagchi, Ness B. Shroff, SLAM: Sleep-Wake Aware Local Monitoring in Sensor Networks, DSN 2007
- [5] K. Sohrabi, J. Gao, V. Ailawadhi, G.J. Pottie, Protocols for self-organization of a wireless sensor network, IEEE Pers. Commun. 2000
- [6] InterPlanetary Internet Project : <http://www.ipnsig.org/home.htm>
- [7] K. Fall, A delay-tolerant network architecture for challenged internets, ACM Sigcomm 2003
- [8] S. Jain, K. Fall, and R. Patra. Routing in a delay tolerant network. ACM Sigcomm, 2004
- [9] G. Karlsson, V. Lenders, and M. May. Delay-tolerant Broadcasting. ACM SIGCOMM CHANTS Workshop 2006
- [10] C2C Consortium : <http://www.car-to-car.org/>
- [11] Vehicle Safety Communications Project : <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-12/CAMP3/pages/VSCC.htm>
- [12] U. Lee, E. Magistretti, B. Zhou, M. Gerla, P. Bellavista, A. Corradi, Efficient Data Harvesting in Mobile Sensor Platforms. IEEE PerSeNS Workshop, 2006
- [13] R. Panayappan, J. M. Trivedi, A. Studer, A. Perrig, VANET-based Approach for Parking Space Availability, ACM 4th workshop on VANETs, 2007
- [14] Fan Bai, N. Sadagopan, A. Helmy, The IMPORTANT framework for analyzing the Impact of Mobility on Performance Of Routing protocols for Adhoc Networks, IEEE INFOCOM 2003
- [15] GUIZZO, E. Network of traffic spies built into cars in atlanta. IEEE Spectrum, 2004
- [16] W. Kiess, J. Rybicki, M. Mauve, On the nature of Inter-Vehicle Communication, 4th Workshop on Mobile Ad-Hoc Networks, 2007
- [17] M. Gerla, X. Hong, and G. Pei, Fisheye State Routing Protocol (FSR) for Ad Hoc Networks, IETF Internet Draft, 2001
- [18] T. Clausen, P. Jacquet, Optimized Link State Routing Protocol (OLSR), IETF RFC 3626, 2003
- [19] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Y-C. Hu, The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR), Internet Draft, 2004
- [20] C.E. Perkins, E.M. Belding-Royer, and S. Das, Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing, IETF RFC 3561, 2003
- [21] J. Broth, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y. C. Hu, and J. Jetcheva. A Performance Comparison of Multi-Hop Wireless Ad Hoc Network Routing Protocols. ACM/IEEE MobiCom, 1998
- [22] P. Johansson and T. Larsson. Scenario-Based Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad-Hoc Networks. ACM/IEEE MOBICOM 1999
- [23] S. Das, R. Castaneda, J. Yan, R. Sengupta, Comparative performance evaluation of routing protocols for MANETs, IEEE IC3N 1998
- [24] J. Haerri, F. Filali, and C. Bonnet, Performance comparison of AODV and OLSR in VANETs urban environments under realistic mobility patterns, Med-Hoc-Net, 2006
- [25] T. H. Clausen, P. Jacquet, L. Viennot, Comparative Study of Routing Protocols for Mobile Ad-hoc Networks, MedHocNet, 2002
- [26] Y. Ko and N. Vaidya, Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks, ACM/IEEE MOBICOM, 1998
- [27] M. Grossglauser, M. Vetterli. Locating nodes with EASE: Last Encounter Routing for Ad Hoc Networks through Mobility Diffusion. IEEE INFOCOM, 2003
- [28] L. Bononi, M. Di Felice, A Cross Layered MAC and Clustering Scheme for Efficient Broadcast in VANETs, IEEE MASS 2007
- [29] S. M. Senouci, T. M. Rasheed, Modified Location-Aided Routing Protocols for Control Overhead Reduction in Mobile Ad Hoc Networks, IFIP, 2007

- [30] M. Jerbi, R. Meraihi, S. M. Senouci, Y. G. Doudane, GyTAR: improved Greedy Traffic Aware Routing Protocol for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments, 3rd international workshop on VANETs
- [31] H. Wu, R. Fujimoto, R. Guensler, M. Hunter, MDDV: a mobility-centric data dissemination algorithm for vehicular networks, ACM international workshop on VANETs, 2004
- [32] Vehicle Infrastructure Integration - VII, <http://www.its.dot.gov/vii/>
- [33] Craig Pickering, "Vehicle Infrastructure Integration (VII) in the US – Enhancing Safety, Enabling Mobility", Panel session within the symposium *IEEE WiVec'2007*, September 2007.
- [34] Hannes Hartenstein, Kenneth P. Laberteaux, "A Tutorial Survey on Vehicular Ad Hoc Networks", *IEEE Communications Magazine*, pp.164-171, June 2008.
- [35] J-P Hubaux, « Vehicular Networks: How to Secure Them », *MiNeMa Summer School*, Klagenfurt, Juillet 2005
- [36] T. Nadeem, S. Dashtinezhad, C. Liao, L. Lftode, "TrafficView, traffic data dissemination using car-to-car communication"
- [37] C. Lochert, B. Scheuermann, M. Mauve, "Probabilistic aggregation for data dissemination in VANETs"
- [38] L. Wischhof, A. Ebner, H. Rohling, M. Lott, R. Halfmann, "A Self-Organizing Traffic Information System",
- [39] J. Harri, F. Filali, C. Bonnet, M. Fiore, "VanetMobiSim: generating realistic mobility patterns for VANETs", 2006
- [40] I. Stepanov, "CanuMobiSim – a framework for user mobility modeling", 2004
- [41] R. C. Shah, S. Roy, S. Jain, Data MULEs: Modeling a Three-tier Architecture for Sparse Sensor Networks, 2003

Table des illustrations

Figure 1 - Principaux acteurs dans le domaine des réseaux véhiculaires [34]	12
Figure 2 – Illustration d'un réseau VANET	13
Figure 3 - Voiture Intelligente [35].....	15
Figure 4 – Routage dans les réseaux ad hoc.....	17
Figure 5 - Segmentation d'une route pour CGP	24
Figure 6 - Vue générale de CGP	25
Figure 7 – Election du Cluster Head	26
Figure 8 – Collecte locale des données.....	27
Figure 9 – Envoi inter-segments.....	28
Figure 10 – Envoi direct vers la station.....	28
Figure 11 – Store & forward.....	28
Figure 16 – Exemple d'un fichier de mobilité.....	31
Figure 17 – Environnement spatial de simulation	32
Figure 18 – Scénario 1	33
Figure 19 – Scénario 2	33
Figure 20 – Scénario 3	34
Figure 21 - Résultats de simulation	34
Figure 22 - Résultats de simulation	35
Figure 23 - Résultats du modèle mathématique.....	36
Figure 13 – Exemple d'une exécution sur Qualnet	42
Figure 14 – Création d'un scénario sur Qualnet	42
Figure 15 – Statistiques en sortie de Qualnet (file.stat).....	43
Figure 12 - Capture d'écran de l'exécution de CGP	43

Annexe

1. Environnement de simulation (Qualnet 4.5)

QualNet est un environnement commercial de simulation développé par *Scalable Network Technologies* (SNT) qui étudie les performances de réseaux filaires, sans fils ou mixtes. Plusieurs modèles sont proposés avec le simulateur, parmi lesquels des modèles de mobilité dans un environnement urbain très réalistes qui permettent de tester des algorithmes et des architectures en prenant compte plusieurs paramètres tels que :

- ⇒ Le type d'architecture Mobile-to-Mobile ou Station-to-Mobile
- ⇒ L'environnement urbain dans lequel évoluent les nœuds : hauteurs des bâtiments, largeur des rues, nombre moyen de bâtiments dans un champ de transmission, orientation de la route ... etc.
- ⇒ Mobilité des nœuds (Dead Reckoning, File-based mobility, Group mobility, Pedestrian mobility ... etc.)
- ⇒ Hauteur des nœuds à partir du sol
- ⇒ Hauteur des antennes de transmission (mobiles et fixes)
- ⇒ Caractéristiques physiques de la liaison sans fils (porteuse, ligne d'horizon, longueur d'onde, collisions, interférences, atténuation ... etc.)
- ⇒ Prise en charge des niveaux de batteries d'alimentation
- ⇒ Type d'antennes utilisées (directionnelles et omnidirectionnelles)
- ⇒ Modèles de terrain (cartésien, DEM, DTED, ... etc.)

QualNet comprend plusieurs modèles de protocoles (couche 1, 2 et 3) spécifiques aux communications dans les réseaux ad hoc.

- **Couche physique** : parmi les modèles disponibles, on peut citer La partie physique du protocole 802.11, différents type de modulation (BPSK, DPSK, DQPSK, GMSK ... etc.), modèles de propagation (Fast Rayleigh Fading, ITM, Longnormal ... etc)
- **Couche MAC** : toute la gamme 802.11, les protocoles : Aloha, CSMA, MACA, ... etc.
- **Couche réseau** : plusieurs protocoles de routage sont déjà disponibles dans QualNet : AODV, BRP (Bordercast Resolution Protocol), DSR, DYMO (Dynamic MANET On-demand), IARP, LAR1, Mobile IP, OLSR, STAR, ZRP ... etc.

Dans les figures 12 et 13, on peut voir un exemple d'une exécution dans Qualnet.

Qualnet Developer, la partie modifiable du simulateur permet la création de nouveaux protocoles, l'optimisation et la modification de protocoles existants, la modélisation de très grands réseaux filaires ou sans fil.

```

$ ./qualnet default.config
QUALNET_HOME = /usa/jaikaeo/qualnet/3.6
QualNet Version 3.6
Attempting license checkout (should take less than 2 seconds) success.
Partition 0, Node 1 (210.35, 159.63, 0.00).
Partition 0, Node 2 (479.92, 134.36, 0.00).
:
Partition 0, Node 30 (1391.27, 1219.75, 0.00).

Initialization completed in 0.2608 sec

Current Sim Time[s] = 0.000000000 Real Time[s] = 0 Completed 0%
Current Sim Time[s] = 9.046229850 Real Time[s] = 0 Completed 1%
:
Current Sim Time[s] = 891.040233635 Real Time[s] = 1 Completed 99%
Current Sim Time[s] = 900.000000000 Real Time[s] = 1 Completed 100%
Executed 379907 events in 2.3882 sec

$

```

Figure 20 – Exemple d'une exécution sur Qualnet

3.5.1 1.1 Fonctionnement du simulateur

Qualnet fonctionne grâce à des fichiers de configuration (file.config) dans lesquels les détails de l'exécution de la simulation sont définis :

- Nombre de nœuds
- Durée de la simulation
- Protocoles utilisés
- Modèle de mobilité
- L'adressage des nœuds
- Etc.

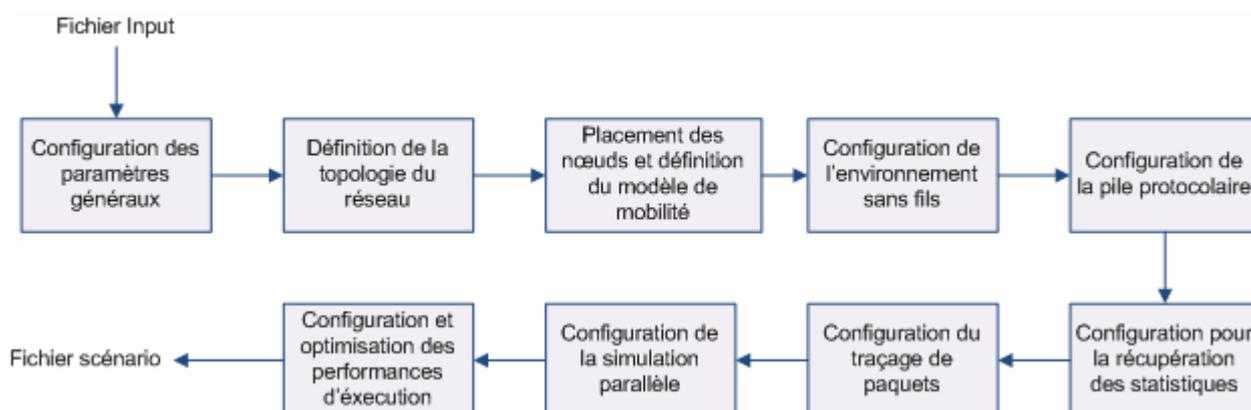


Figure 21 – Création d'un scénario sur Qualnet

Qualnet propose trois environnement pour exécuter des simulations en Java (1) l'interface graphique (2) l'interface en ligne de commande (3) l'interface de visualisation 3D (voir figure 12).

Identifiant du noeud	Temps de simulation	Protocole	Statistiques	Valeurs
1,	[0]	Physical,	802.11b	Signals transmitted = 547
1,	[0]	Physical,	802.11b	Signals received and forwarded to MAC = 1064
1,	[0]	MAC,	802.11MAC	Packets from network = 45
1,	[0]	MAC,	802.11MAC	UNICAST packets sent to channel = 42
1, 0.0.0.1,	[0]	Network,	FIFO	Total Packets Queued = 4
1, 0.0.0.1,	[0]	Network,	FIFO	Total Packets Dequeued = 4
1, 0.0.0.1,	[1]	Network,	FIFO	Total Packets Queued = 0
1, 0.0.0.1,	[1]	Network,	FIFO	Total Packets Dequeued = 0
1, 0.0.0.1,	[2]	Network,	FIFO	Total Packets Queued = 41
1, 0.0.0.1,	[2]	Network,	FIFO	Total Packets Dequeued = 41

Adresse IP
Couche ISO

* Perl et Awk sont généralement utilisés pour traiter les statistiques générés en sortie

Figure 22 – Statistiques en sortie de Qualnet (file.stat)

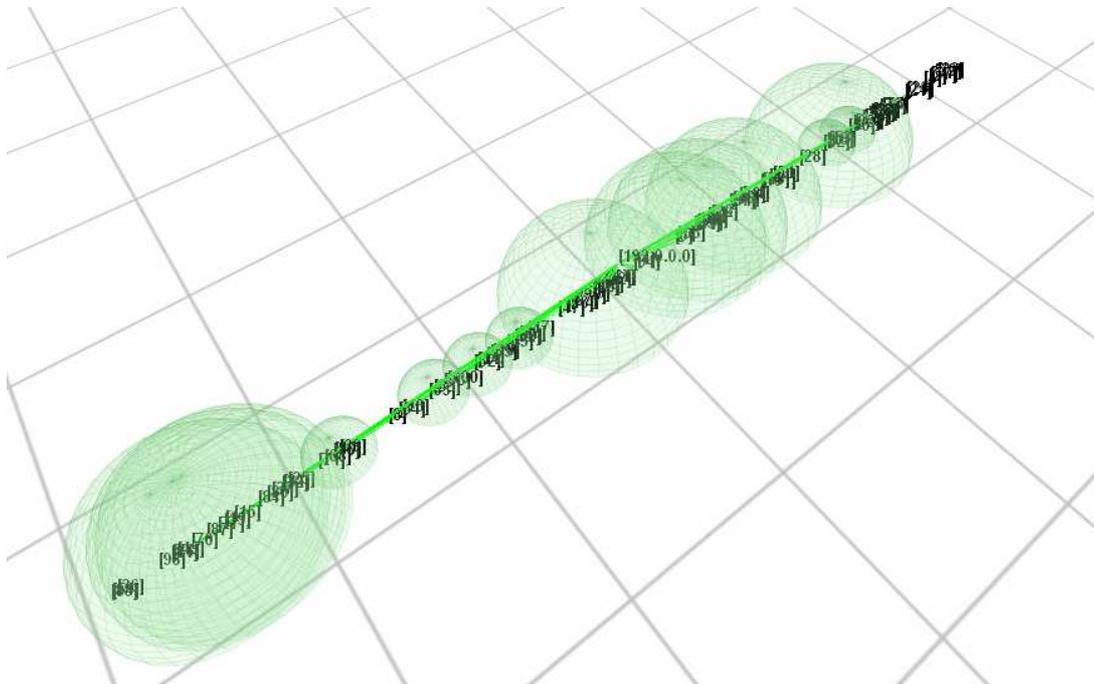


Figure 23 - Capture d'écran de l'exécution de CGP