



HAL
open science

Communications inter-véhicules

Ana Roxin

► **To cite this version:**

Ana Roxin. Communications inter-véhicules. Géopositionnement et mobilités (GPS, Egnos et Galileo), PRUR-UTBM, pp.163-186, 2009, 978-2-914279-40-6. hal-00877055

HAL Id: hal-00877055

<https://hal.science/hal-00877055>

Submitted on 28 Oct 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Communications inter-véhicules

Ana ROXIN

UTBM, laboratoire SeT, équipe de recherche GSEM (Géopositionnement, Systèmes Embarqués et Mobilité)

Introduction

La densité du trafic routier augmente de manière continue. Le nombre croissant de véhicules sur les routes mène à une congestion du trafic et à des accidents, ce qui cause des délais, des coûts, des blessures et parfois des morts. Il y a donc un défi à surmonter, de manière à pouvoir intégrer ce trafic croissant.

Afin de résoudre ce problème, il faut fournir aux chauffeurs des informations concernant la route. Il peut s'agir d'informations liées à la mobilité (par exemple les conditions de trafic sur la route actuelle), ainsi que d'informations liées à la sécurité (par exemple des informations concernant l'état de la route et du trafic, dans le voisinage immédiat du véhicule).

La communication inter-véhicules permet de résoudre ce problème. Dans un premier temps, le but visé est d'améliorer les flux de trafic, éviter les accidents et réduire la durée des voyages en voiture. Dans un deuxième temps, et au vu de la demande croissante pour de l'informatique embarquée, les buts à atteindre seront de fournir un accès à de l'Internet haut débit, notamment à travers des applications multimédias telle la vidéo à la demande, les jeux, etc.

La communication inter-véhicules est nécessaire pour pouvoir fournir ces informations aux véhicules. A travers ce chapitre, nous allons faire un tour d'horizon des différentes approches existant aujourd'hui dans ce domaine. Plusieurs projets regroupant universités et constructeurs automobiles seront aussi présentés.

Modes de communication

Avant de présenter les différentes techniques de communication inter-véhicules, il est important de bien définir les différents modes de communication qui peuvent être envisagés. Sous le terme global de communication inter-véhicules, se cachent en effet trois modes de communication :

- **Communication entre le véhicule et les équipements situés en bord de route**
Ce mode de communication nécessite l'usage de capteurs et « transpondeurs » sur les accotements. A travers ce type de communication, deux types de données peuvent être transmis : des données spécifiques au véhicule et des données concernant l'environnement du véhicule. Ce mode de communication est appelé communication Véhicule-à-Infrastructure (V2I).
- **Communication entre le véhicule et une entité externe à la route**
Ce mode de communication permet d'accéder à une entité externe (Internet, serveur distant, etc.) à travers un réseau quelconque (cellulaire, satellitaire, etc.).
- **Communication entre le véhicule et un autre véhicule**
Ce mode de communication inclut les communications avec des véhicules présents sur la route, soit dans la même voie, soit dans le voisinage proche du véhicule considéré. Deux modes de transmission peuvent alors être envisagés : point à point et diffusion. Ce mode de communication est appelé communication Véhicule-à-Véhicule (V2V).

Ces trois modes de communication permettent de définir trois types de communication :

- L'envoi de commandes (et réception de réponses) entre un fournisseur de service et un utilisateur de ce service ;

- La diffusion d'informations ;
- La communication point-à-point : deux applications, présentes sur deux voitures distinctes, communiquent entre elles, sans qu'aucune d'entre elles ne s'identifie ou contrôle l'autre application.

Ces différents types de communication inter-véhicules permettent ainsi de définir différentes applications. Ce sont ces applications que nous allons survoler dans la partie suivante.

Applications

Les coûts d'installation du matériel de communication nécessaire (autant dans les véhicules que pour les accotements de la route) sont liés au nombre d'applications que la communication inter-véhicules rendra possibles. Plus ce nombre d'applications sera grand, plus les coûts d'installation par application seront réduits.

Parmi les applications de la communication inter-véhicules connues en France, on peut citer l'exemple Liber-T¹, qui permet de réduire les files d'attente au péage. Ce type de système s'est révélé être un succès à travers la France entière, puisqu'il opère dans un rayon réduit et ne demande pas de grandes vitesses de transmission de données. Cet exemple symbolise l'application dite « de base » de la communication inter-véhicules.

Des exemples d'applications plus élaborées existent, tel le projet ASV (*Advanced Safety Vehicle*) de Honda². Dans le cadre de ce projet, Honda étudie la communication entre les véhicules et les motocycles. Le but de ce projet est de fournir des informations aux conducteurs de motocycles quant aux éventuels mouvements ou comportements imprévus qu'un véhicule peut avoir. Ces informations sont utiles dans les environnements où la vue du conducteur du véhicule est obstruée, et donc lorsque le conducteur risque de ne pas voir le motocycle présent à proximité.

Le tableau ci-dessous liste quelques exemples d'applications pour chacun des trois modes de communication listés plus haut. La présentation de ces applications ne fait pas l'objet de ce chapitre.

Communication entre le véhicule et les accotements de la route	Communication entre le véhicule et une entité externe à la route	Communication entre le véhicule et un autre véhicule
Péage électronique (autoroute, stations Drive-In, parkings, etc.)	Avertissement lorsqu'un virage est pris à une trop grande vitesse	Freinage en cas d'urgence
Mises à jour des logiciels embarqués	Avertissement vitesse optimale	Avertissement avant crash
Gestion des informations spécifiques aux chauffeurs commerciaux (temps de conduite, kilomètres parcourus, etc.)	Avertissement travaux sur route / autoroute	Conseils à la conduite
Gestion de véhicules test, remontant des informations trafic et état de la route	Avertissement lors de la traversée de voies ferrées	Avertissement de changement de voie

¹ <http://www.sapn-libert.fr/>

² http://corporate.honda.com/GovRelations_DCTM/Press_Releases/ITS_WC_08.pdf

Mises à jour temps-réel de l'information trafic	Avertissement pont bas	Avertissement lorsqu'un véhicule prioritaire approche (ambulance, pompiers, etc.)
Mises à jour temps-réel de l'information cartographique	Avertissement concernant l'état global de la route	Avertissement concernant l'état global de la route
Création d'itinéraire et navigation		
Transfert de contenus multimédias (jeux, musiques, vidéos, etc.)		
Échange de données lors d'un passage de douane		

Tableau 1. Diverses applications de la communication inter-véhicules [10].

Approches

Les applications basées sur la communication inter-véhicules ont été étudiées depuis le début des années '90. La recherche s'est cependant beaucoup développée durant ces dernières années. Les chercheurs, en association avec de grands constructeurs automobiles, ont développé et testé de nouvelles approches.

Ce sont justement ces approches qui sont présentées ici. Nous nous intéresserons plus particulièrement aux protocoles suivants :

- Protocole DSRC (*Dedicated Short-Range Communications*) ;
- Protocole de communication à travers des réseaux ad-hoc ;
- Protocole WAVE (*Wireless Access Vehicular Environment*) ;
- Protocole CALM (*Continuous air interface long and medium range communications*).

Dedicated Short Range Communications (DSRC)

Sous le nom de DSRC se cache un protocole de communication sans fil spécifiquement conçu pour le monde de l'automobile. Ce protocole permet la communication entre un véhicule et des équipements présents en bord de route.

Ce protocole permet de communiquer dans un rayon relativement faible (jusqu'à 1000m) et seulement en ligne de vue. Le protocole DSRC est basé sur un contrôle des communications du type commande/réponse, entre les véhicules et les équipements présents en bord en route [18].

Les principaux termes du DSRC, tels que définis par le standard IEEE 1455-1999³, sont listés ci-dessous et sont identifiés par la Figure 1 [10]:

- **Le transpondeur** est l'unité embarqué à bord des véhicules
- **La balise** est un système implanté sur les accotements de la route, composé d'une antenne et d'un lecteur.
- **Le lecteur** est un composant de la balise située en bord de route, qui permet la communication radio avec un transpondeur.
- **L'antenne** est utilisée pour envoyer/recevoir les ondes radio.

³ http://www.standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=9

- **Le message** est un paquet d'information envoyé depuis/vers le transpondeur, et dont le format doit correspondre aux définitions du standard.

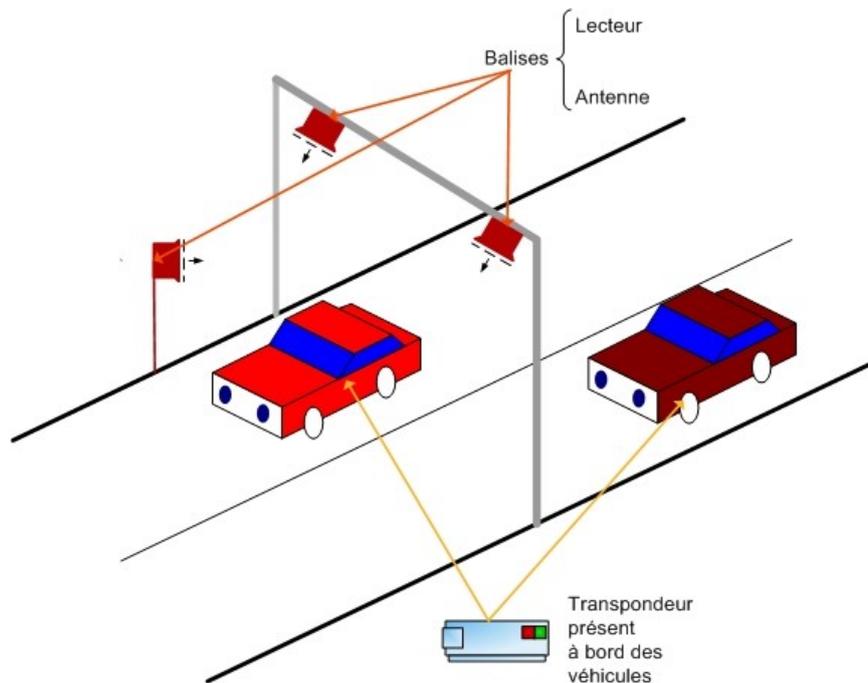


Figure 1. Principe de fonctionnement du protocole DSRC [10].

Les standards actuellement définis pour l'implémentation du protocole DSRC utilisent la bande de fréquence 5.850 – 5.925 GHz : aux Etats-Unis c'est la bande des 5.9 GHz qui est utilisée, alors qu'en Europe et au Japon c'est plutôt la bande des 5.8 GHz⁴. Il existe aussi un standard précédent, permettant d'utiliser la bande des 915 MHz.

Le protocole DSRC supporte la diffusion d'informations voyageur, les applications commerciales (péages, parkings payants, etc.) et les applications de sécurité (par exemple éviter les accidents dans les intersections). En Europe et au Japon, ce protocole est principalement utilisé dans les applications de télépéage.

Les implémentations du protocole diffèrent entre l'Europe, les Etats-Unis et le Japon. Différents standards ont été mis au point, ce qui fait que les systèmes DSRC européens, américains et japonais ne sont pas compatibles entre eux. Ce sont justement les implémentations de ce protocole que nous allons étudier dans ce qui suit, notamment aux Etats-Unis et au Japon.

Étude de l'implémentation du protocole aux États-Unis

Aux Etats-Unis, c'est en 2003 que la FCC (*Federal Communications Commission*) a autorisé une bande 75 MHz pour l'usage exclusif du DSRC pour les applications de sécurité des STI. Les 75 MHz ont été pris dans la bande des 5.850 – 5.925 GHz [18].

Ceci représente le point culminant d'un processus débuté en 1997, lorsque l'industrie des systèmes de transport intelligent avait demandé une autorisation à la FCC. Le spectre radio est fourni de manière exclusive pour éviter toute interférence avec d'autres utilisateurs, étant donné le caractère critique de la sécurité des communications.

⁴ <http://www.bulletins-electroniques.com/actualites/43174.htm>

Cette allocation de spectre était nécessaire, non pas pour envoyer des messages de sécurité (qui sont relativement courts), mais pour pouvoir manipuler la charge en communications lorsqu'un grand nombre de véhicules envoient chacun des messages de sécurité à des intervalles réguliers et fréquents.

Considérations générales

De manière à prouver l'intérêt du DSRC pour les STI, le consortium VSCC (*Vehicle Safety Communications Consortium*) a effectué une évaluation étendue du protocole DSRC [7]. Le Ministère du Transport américain, ainsi que des industriels du monde automobile tels que BMW, DaimlerChrysler, Ford, GM, Nissan et Toyota, ont aussi participé à cette étude. Les objectifs suivants ont été fixés par le VSCC pour cette évaluation :

- Fournir une estimation des avantages potentiels des applications de sécurité basées sur une communication inter-véhicules ;
- Définir les besoins en communication pour un ensemble d'applications choisies ;
- Identifier et étudier les diverses difficultés techniques qui pourraient affecter la capacité du protocole DSRC à supporter ces applications ;
- Estimer la faisabilité du déploiement d'applications de sécurité basées sur une communication inter- véhicules ;
- Estimer la capacité des standards DSRC proposés à satisfaire les besoins des applications de sécurité.

Cette étude a ainsi permis d'établir le fait que le protocole DSRC nord-américain est une solution prometteuse, étant donné ses caractéristiques suivantes :

- Faible temps de latence (ou temps de réponse) ;
- Possibilité de diffusion d'informations (*broadcast*) ;
- Possibilité d'allouer de portions de spectre pour un accès hautement disponible, permettant l'échange de données de manière quasi instantanée, notamment en cas d'accident ;
- Une bande de fréquence suffisamment large pour la plupart des applications.

Même si le DSRC fonctionne, en théorie, dans un rayon d'environ 1000m, en pratique il est limité à approximativement 200m. Etant données les vitesses sur les autoroutes, 200m est une distance convenable pour permettre aux diverses entités de transmettre de l'information, et de répondre en conséquence.

Le faible temps de latence du protocole DSRC constitue un de ses plus grands atouts. Le protocole DSRC permet des temps de latence de moins de 100ms et cela correspond parfaitement aux besoins de la plupart des applications de sécurité. Des technologies alternatives de communication sans fil ne permettent pas d'atteindre de tels temps de latence. En effet, les temps de latence de la plupart des technologies sans fil existantes sont tout de même 1000 fois plus importants que ceux atteints grâce au protocole DSRC.

De plus, à travers cette étude, le VSCC a pu identifier quelques 80 applications basées sur le protocole DSRC. Pour ces applications, des paramètres de communication ont été définis, incluant entre autres :

- Les types de communication (sens unique, double sens, point-à-point, point-à-multipoint) ;
- Les modes de transmission (lorsqu'un événement se produit, ou de manière périodique) ;
- La fréquence des mises à jour ;

- Les délais d'établissement de la communication (temps de latence) ;
- Le contenu des messages (quelles données doivent être transmises ou reçues) ;
- La zone de couverture (dans quel rayon les messages peuvent être envoyés / reçus).

Cette étude a aussi permis d'étudier la taille des paquets de données échangés. Elle a été évaluée à moins de 100 bytes pour les communications véhicule à véhicule, et à environ 430 bytes pour les communications entre un véhicule et les équipements situés en bord de route.

Tous les avantages du DSRC listés plus haut font que ce protocole permet de mettre en place un réseau de communications sans fil point-à-point, semblable à un réseau cellulaire.

Spécification et standardisation

Aux Etats-Unis, le protocole DSRC a été implémenté à partir de trois standards :

- Pour la couche d'application, le standard a été développé par l'IEEE, sous le nom **IEEE Standard 1455-1999**. Ce standard définit comment sont organisées les données pour les applications DSRC et comment on peut accéder à ces données afin de les transmettre à travers la liaison radio.
- Pour la couche liaison de données, la spécification se base principalement sur les produits DSRC existants et est désignée sous le nom de **ASTM v6**. Cette spécification permet de déterminer le protocole utilisé pour la réception et l'envoi de données à travers la liaison radio.
- Pour la couche physique, le standard a été développé sous le nom de **ASTM PS 111-98**. Ce standard traite principalement des caractéristiques de la fréquence radio utilisée pour la liaison radio.

Ces trois standards ont constitué la base du protocole « **Sandwich Specification** », proposé par la FHWA (*Federal Highway Administration*) et qui est utilisé dans tous les déploiements du type CVO (*Commercial Vehicle Operation*). Le protocole Sandwich est compatible avec le matériel DSRC existant. En utilisant le standard IEEE 1455-1999, le protocole ainsi spécifié peut supporter de multiples applications tout en utilisant les mêmes transpondeurs.

Aujourd'hui, la spécification pour les couches physique et MAC du protocole DSRC a évolué vers un seul standard, le **ASTM E2213-02e1**, dont le nom complet est le suivant : « *Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5 GHz Band Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* ».

Il existe un deuxième standard, définissant les spécifications pour un protocole DSRC utilisant la bande des 915 MHz. Dans cette bande, la bande passante disponible est seulement de 12 MHz, partagée avec les réseaux de téléphone filaires, les systèmes d'ouverture de garage, ainsi que d'autres applications sans-fil non soumis à une licence. Le standard en question est le **ASTM E2158-01**.

Les standards ainsi définis pour le DSRC étendent la spécification du standard IEEE 802.11a à l'environnement grande vitesse des véhicules. Le fait de baser le protocole DSRC sur le standard IEEE 802.11a permet un déploiement plus rapide, à partir de composants existants, ainsi que l'interopérabilité du matériel DSRC dans un environnement WLAN.

Étude de l'implémentation du protocole au Japon

Au Japon, c'est l'association AHSRA (*Advanced cruise-assist Highway System Research Association*) [17] qui a ouvert la voie aux systèmes de communication sans fil entre la route et les véhicules.

Au Japon, l'objectif général a été de s'assurer que les véhicules ont suffisamment d'informations concernant les obstacles ou les autres dangers de la route. Pour ce faire, des capteurs ont été installés sur le bord de la route de manière à détecter les éventuels obstacles. Ce sont les équipements embarqués à bord des véhicules qui déterminent les actions à entreprendre : freinage, signal d'alarme, etc.

Au Japon, une des premières applications du DSRC a concerné les systèmes de télépéage. Le système a été lancé en 2001 [13], et est illustré par la figure suivante :

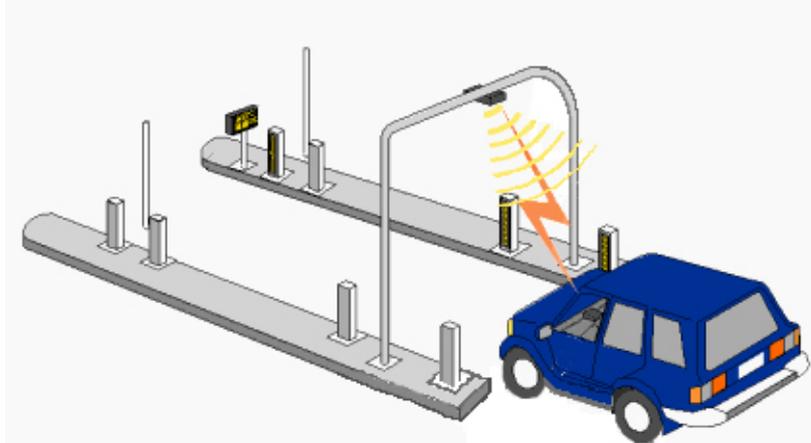


Figure 2. Utilisation du DSRC dans le système de télépéage japonais.

Pour chaque gare de péage, des lecteurs/transpondeurs ont été installés sur les bords de la route. Des équipements embarqués (OBU pour *On-Board Unit*) sont présents à bord des véhicules.

Cette première application a donné naissance à d'autres implémentations du protocole DSRC au Japon.

Par rapport à l'exemple américain, c'est la manière dont est transmise l'information au conducteur du véhicule qui diffère. L'approche de l'AHSRA utilise un mode de communication par « zones », contrairement aux américains, qui ont choisi un mode de communication en continu [10].

En mode continu, il faut créer une zone radio suffisamment étendue pour qu'à l'intérieur de cette zone la communication soit ininterrompue. Pour ce faire, il faut déployer de nombreuses balises le long des routes. Ce type de communication est affecté par les phénomènes de réflexion du signal. C'est la raison pour laquelle de nouvelles techniques de modulation, telles l'OFDM ou le QPSK, sont envisagées pour ce mode de communication.

Dans le cas de la *communication par « zones »*, il s'agit de déployer moins de transpondeurs, de manière à créer des zones d'environ 30m de diamètre, où la communication entre le véhicule et les balises DSRC est possible. Le standard sur lequel s'appuie ce protocole est le même que le standard utilisé pour les systèmes de télépéage ETC (*Electronic Toll Control*), le **ARIB STD-T75**. De cette manière, ce sont les mêmes équipements embarqués qui pourront être utilisés à la fois pour les applications de télépéage et les applications de sécurité.

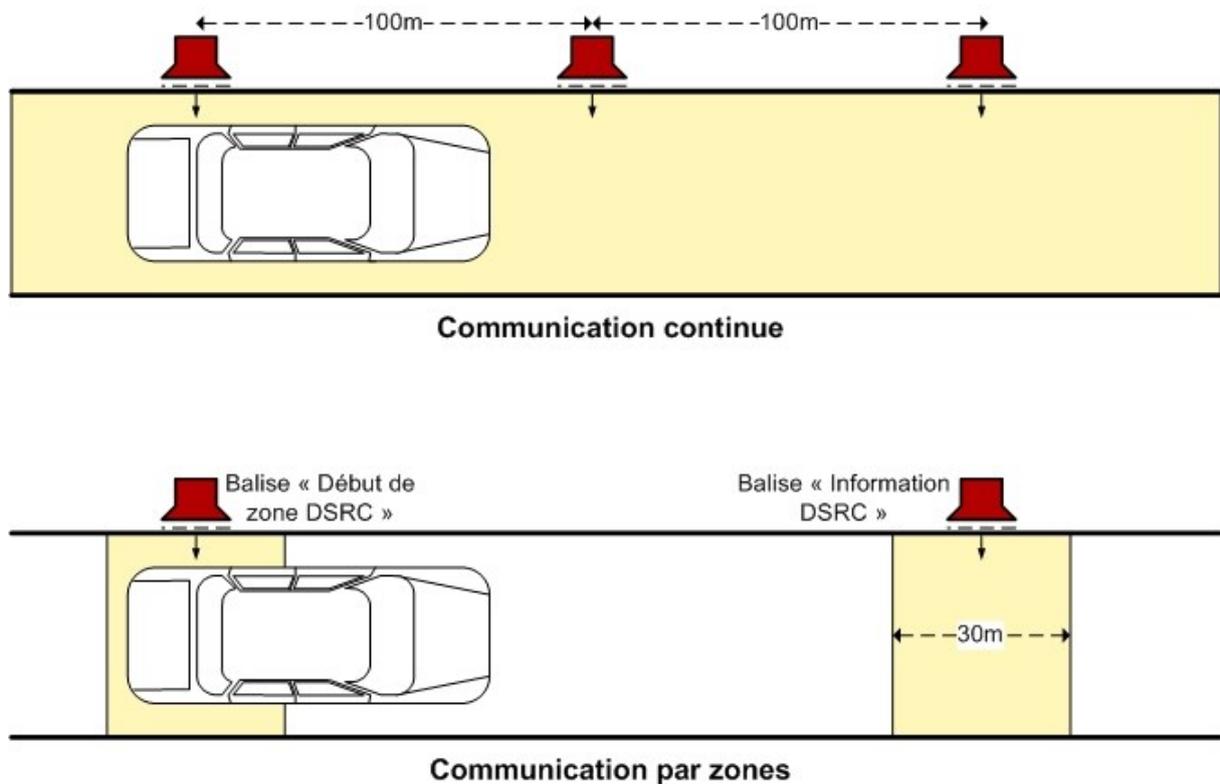


Figure 3. Communication continue et communication par zones [10].

En utilisant la communication par « zones », l'approche nipponne emploie un système à deux balises pour chaque zone d'information (voir Figure 3). L'information est transmise au véhicule de la manière suivante :

- La **balise « Début de zone DSRC »** transmet le point de début du service ; c'est cette balise qui est reçue en premier.
- La **balise « Information DSRC »** transmet le type de service offert, ainsi que l'information nécessaire à l'implémentation du service. Cette balise est reçue en deuxième.

Dans le futur, l'AHSRA a planifié d'étudier les points restants suivants [17]:

- Détérioration du signal radio à cause d'une réception oblique, lorsque l'équipement embarqué est installé sur le bord du véhicule ;
- L'intégration des différentes applications ;
- La standardisation des protocoles de communication.

Wireless Access Vehicular Environment (WAVE)

WAVE est avant tout un mode d'opération pour les appareils utilisant le standard IEEE 802.11. Ce mode s'applique aux environnements dans lesquels les propriétés de la couche physique varient rapidement et dans lesquels de très courtes durées de communication sont requises. Cela revient à dire que WAVE est une amélioration du WiFi, en vue de permettre la communication entre les véhicules et les divers équipements implantés sur les bords de route [11].

WAVE est en fait une modification apportée au standard IEEE 802.11, dont la spécification porte le nom P802.11p. Le but de cette spécification est de :

- Décrire les fonctions et services nécessaires pour permettre le fonctionnement des balises WAVE ;

- Définir les techniques de signalement WAVE et les fonctions d'interface contrôlées par la couche MAC IEEE 802.11.

Cette modification du standard repose sur des tests et des analyses des communications sans-fil dans un environnement mobile. Les résultats de ces tests et analyses sont regroupés dans le standard **ASTM E 2213-03**, dont l'intitulé exact est : « *Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems - 5.9 GHz Band Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) / Dedicated Short Range Communications (DSRC) Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications* ». C'est aussi sur ce document que reposent les spécifications IEEE 802.11p.

WAVE est aujourd'hui considéré comme la dernière « version » du protocole DSRC puisqu'il a les mêmes caractéristiques de base, mais permet des zones de couverture atteignant réellement 1000m, des taux de transfert des données bien plus importants (entre 6 et 27 Mbps en théorie) [11].

WAVE est né du besoin croissant de fournir des services haut-débit aux conducteurs et aux passagers des véhicules. Le DSRC est principalement utilisé pour des applications de sécurité, alors que WAVE pourrait être utilisé pour délivrer des flux audio/vidéo, en plus des informations trafic / sécurité.

La principale différence entre les systèmes DSRC et les systèmes WAVE se situe au niveau du spectre de fréquences utilisé.

Les systèmes WAVE utilisent des fréquences dans la bande des 5.825 - 5.850 GHz, avec une bande passante de 10MHz par canal. Cette bande passante représente la moitié de la bande passante utilisée pour les canaux des systèmes WLAN IEEE 802.11 a/g. C'est pour cette raison que les débits atteints par les systèmes WAVE ne représentent que la moitié des débits atteints par les systèmes IEEE 802.11 a/g [11].

Le principal inconvénient est que WAVE est encore en cours de normalisation. Le standard dédié ne sera donc pas disponible avant 2009.

Interface d'air continue, gamme longue et moyenne (CALM)

CALM (*Continuous Air-interface for Long and Medium range*) est un standard de communication défini par l'ISO [12], sous le nom de **ISO TC204 WG16**.

L'ISO est un organisme mondial de normalisation formé d'instituts nationaux de normalisation de 148 pays. Le champ d'action de l'ISO couvre tous les domaines techniques, à l'exception de l'ingénierie électrique et électronique et des communications.

L'ISO/TC204⁵ a pour domaine d'intervention les systèmes de commande, de communication et d'information dans le domaine des transports urbains et interurbains, y compris les aspects intermodaux et multimodaux, l'information au voyageur, la gestion de la circulation routière, les transports publics et les services d'urgence. Son effort est orienté vers la normalisation des systèmes de commande et d'information⁶, que l'on appelle plus couramment SAE (Système d'Aide à l'Exploitation).

Voici un aperçu des autres travaux menés par l'ISO :

ISO	JTC 1 – Technologies de l'information		
	TC22 Véhicules routiers	– SC13 – Ergonomie applicable aux véhicules routiers	WG8 – Systèmes embarqués de commande et d'information du transport - IHM
		SC3 – Equipement électrique et électronique	

⁵ http://www.iso.org/iso/fr/iso_technical_committee?commid=54706

⁶ TICS : Transport and Information Control System

TC145 – Symboles graphiques et pictogrammes	SC1 – Symboles pour l'information du public (pictogrammes)
	WG1 – Architecture
	WG3 – Technologie des bases de données TICS
	WG5 – Perception des tarifs et des péages
	WG7 – Gestion du fret et des flottes
	WG8 – Transports publics/urgences
	WG9 – Informations, gestion et contrôle intégrés des transports
	WG10 – Systèmes d'information des voyageurs
	WG11 – Systèmes de guidage sur route et systèmes de navigation
	WG14 – Systèmes d'assistance à la conduite
	WG15 – Communications courte distance dédiées pour applications TICS
	WG16 – Communications grandes distances/protocoles et interfaces (CALM)

Tableau 2. Groupes de travail de l'ISO.

CALM est une proposition de norme encore en cours de validation. Elle devrait permettre une interopérabilité universelle des systèmes de télématique. Le but de la spécification CALM est de définir un terminal réseau standardisé, capable de connecter, de manière continue et transparente, les véhicules aux équipements présents en bord de route. Ceci sera réalisé à travers l'utilisation de plusieurs moyens de communication, tels que les réseaux cellulaires, les WLAN, le DSRC ou l'infrarouge.

CALM représente une première tentative de combiner le GPRS avec des technologies WLAN optimisées pour les véhicules [12]. Cela ne représente pas une nouvelle technologie de communication, mais seulement une manière de permettre la coopération entre des technologies existantes.

La spécification CALM permet :

- un accès universel, quel que soit le mode de communication utilisé (5.8/5.9 GHz, Active Infrared, MillimetreWave et GSM/UMTS),
- un usage des derniers protocoles Internet, couches d'adaptation et entités de gestion,
- un meilleur usage des médias, selon des critères spécifiques à l'utilisateur et à l'application (par exemple les coûts),
- une interopérabilité et un « *handover* » sans discontinuité, transparent, entre les médias et les applications
- différents modes de communication permettant des communications à courte, moyenne et longue distance entre les véhicules et les accotements de la route, une communication de véhicule à véhicule, ainsi qu'entre des équipements mobiles et des éléments d'infrastructure fixes.

CALM supporte, entre autres, les applications de sécurité étudiées par le consortium VSCC.

Les taux de transfert des données sont supposés atteindre les 54 Mbps, avec des rayons d'opération d'environ 1 Km.

Afin de terminer la spécification du standard CALM, plusieurs modifications à des standards IEEE doivent être achevées. Ce sont les standards suivants qui sont visés par des modifications :

- IEEE 1609.1 – Gestionnaire de ressources WAVE (ceci définit la plate-forme d'application de base, ainsi que le protocole de lecture/écriture entre les équipements en bord de route et les équipements à bord des véhicules).
- IEEE 1609.2 – Sécurité du service radio dans la bande des 5.9 GHz pour les systèmes de transport intelligents
- IEEE 1609.3 – Services réseau WAVE (description et gestion des protocoles DSRC, incluant notamment les interfaces d'application, la gestion de la configuration du réseau, ainsi que la transmission/réception de messages WMS⁷)
- IEEE 1609.4 – Opérations multi-canal WAVE (coordination et gestion des bandes de fréquences DSRC)
- IEEE 802.11p – Spécification pour les couches PHY et MAC pour WAVE

Les premières applications CALM sont attendues en 2008. Pour l'instant, l'ISO a publié des spécifications concernant les points suivants⁸ :

- Protocoles réseau – « *ISO/DIS 21210 Intelligent transport systems - Continuous air interface, long and medium range (CALM) - Networking Protocols* », publié en octobre 2007.
- Systèmes infrarouges – « *ISO 21214:2006 Intelligent transport systems - Continuous air interface, long and medium range (CALM) – Infrared systems* », publié en juillet 2006.
- Points d'accès – « *ISO/DIS 21218 Intelligent transport systems - Continuous air interface, long and medium range (CALM) – Medium Service Access Points* », publié en avril 2007.

Les standards concernant les points suivants sont encore en cours de développement⁹ :

- Systèmes cellulaires 2G – ISO/DIS 21212 ;
- Systèmes cellulaires 3G – ISO/DIS 21213 ;
- Gestion des applications – ISO/DIS 24101-1 ;
- Utilisation des réseaux publics – ISO/CD 25111 ;
- Utilisation de la Boucle Locale Radio / du WiMax – ISO/WD 25112 ;
- Architecture globale – ISO/NP 21217.

Communication inter-véhicules utilisant les réseaux ad-hoc

Deux projets ont ouvert la voie à l'utilisation de techniques des réseaux ad-hoc pour la communication inter-véhicules. Il s'agit des projets européens **CarTALK** et **Fleetnet**, débutés en 2000/2001 et actuellement terminés. Le but de ces projets a été de définir un protocole de communication entre véhicules, basé sur les réseaux ad-hoc.

Le principal avantage de ces réseaux est, qu'à part un équipement radio, aucune infrastructure particulière n'est nécessaire pour permettre la communication entre deux véhicules. Cependant, le principal inconvénient réside dans le fait que la topologie d'un tel réseau, créé par des véhicules communiquant entre eux, est amenée à changer très fréquemment (étant donné les vitesses de déplacement des véhicules) [5].

⁷ WMS : WAVE Short Message

⁸ <http://www.fakra.din.de/cmd?workflowname=dinSearch&languageid=en>

⁹ http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54706

Les deux projets susmentionnés, CarTALK et Fleetnet, s'appuient sur une technologie d'accès radio spécifique à l'UMTS, l'**UTRA-TDD** [3].

L'UMTS est une des trois normes de mobiles de 3ème génération (3G), qui s'inscrit dans un contexte mondial d'interopérabilité. Ce standard permet à la fois la téléphonie mobile et le transport de données avec un débit supérieur aux technologies telles que le GSM ou le GPRS. Dans l'UMTS, deux technologies d'accès radio sont proposées. Chacune d'entre-elles est mise en œuvre sur des bandes de fréquences différentes :

- **L'UTRA-FDD** (*UMTS Terrestrial Radio Access Frequency Division Duplex*) - bien adaptée à des trafics symétriques sur les voies montante et descendante (transmission de la parole) et à des environnements « indoor » avec une mobilité restreinte.
- **L'UTRA-TDD** (*UMTS Terrestrial Radio Access Time Division Duplex*) - bien adaptée à des trafics asymétriques sur les voies montante et descendante (services orientés multimédias) et à des environnements *outdoor* avec une grande mobilité (jusqu'à 400 Km/h).

A la base, l'UTRA-TDD est une technologie d'accès radio destinée aux réseaux cellulaires. Des modifications sont donc nécessaires afin d'intégrer les problématiques de la communication entre véhicules, notamment :

- Trafic à grande vitesse ;
- Priorité des applications de sécurité par rapport aux autres applications, moins critiques.

Dans une structure de trame UTRA-TDD, la transmission est organisée en trames de 10ms chacune. Chaque trame est composée de 16 intervalles de temps indépendants [19]. Chacun de ces intervalles de temps peut être assigné de manière dynamique soit sur la voie descendante, soit sur la voie montante. C'est pour cette raison que l'UTRA-TDD est une technologie bien adaptée à des trafics asymétriques. Cette technologie est aussi très robuste dans des environnements où les phénomènes multi-trajet sont présents. Le débit moyen est estimé à environ 2 Mbps. La zone de couverture va de 2000m, pour les environnements autoroutiers, jusqu'à 600m, pour les environnements urbains.

En Europe, le spectre disponible est compris entre 2,01 et 2,02 GHz. L'utilisation de ce spectre ne nécessite pas de licence. C'est une des raisons pour lesquelles le marché des appareils et applications UMTS est prévu à se développer dans les années à venir.

Projet CarTALK

Le projet CarTALK¹⁰ consiste à développer un système d'aide à la conduite, basé sur les technologies de communication inter-véhicules et sur les réseaux ad-hoc. Parmi les partenaires du projet CarTALK, on peut citer : DaimlerChrysler AG, le centre de recherche Fiat, Robert Bosch GmbH, Siemens ICN, TNO, l'Université de Cologne et l'Université de Stuttgart.

Ce projet fait partie de l'initiative « i2010 Intelligent Car Initiative¹¹ » de la Commission Européenne. Ce projet a été débuté en août 2001, et s'est déroulé sur 3 ans.

Afin d'adapter la technologie UMTS aux problématiques de la communication inter-véhicules, l'interface d'air existante a été modifiée. Ce sont les contraintes suivantes qui ont déterminé l'architecture du protocole CarTALK :

- Déplacements à grande vitesse (> 500 Km/h) ;

¹⁰ <http://www.cartalk2000.net/>

¹¹ mms://212.68.215.195/esafety/event_2010.wmv

- Grande couverture radio (> 500m) ;
- Débit adaptable allant de 30 kbps à 1 Mbps ;
- Disponibilité du spectre sans licence.

L'architecture du protocole CarTALK est dérivée du modèle OSI, tel qu'indiqué par la Figure 4, ci-dessous [9].

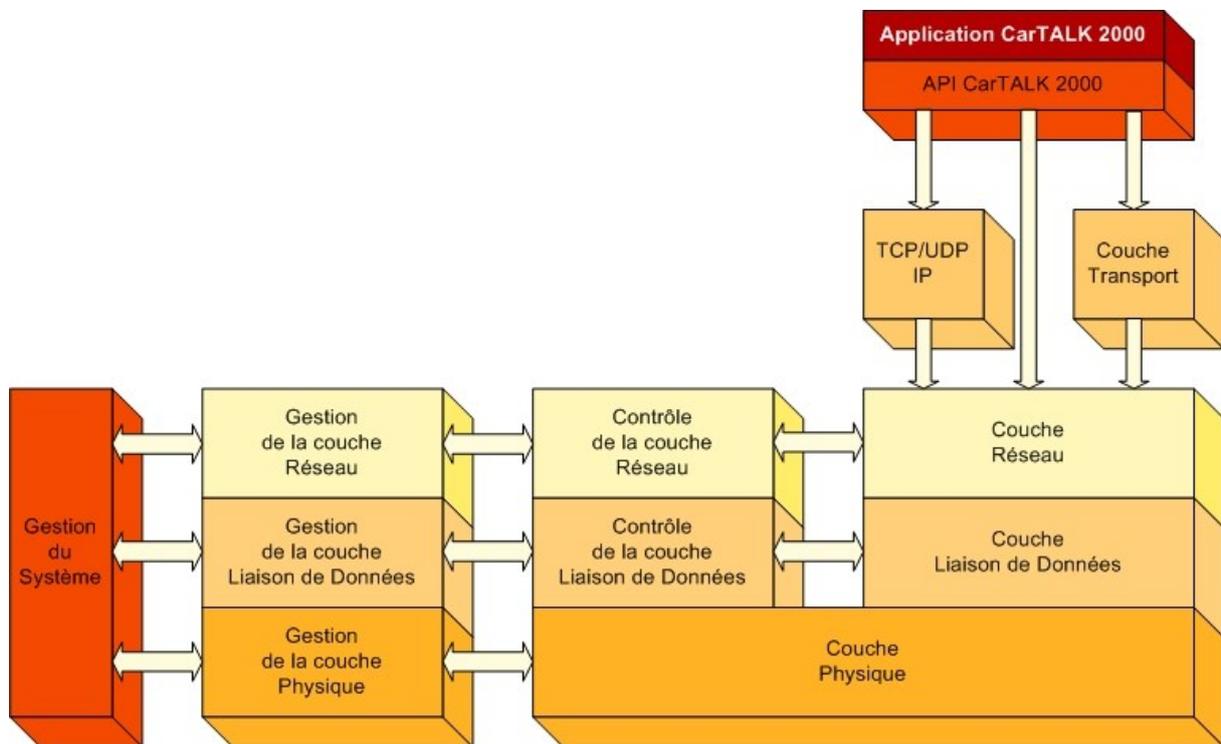


Figure 4. Architecture du protocole CarTALK (adapté depuis [9])

Seule l'interface radio a été divisée en trois couches [8]:

- **La couche Physique** permet de gérer la manière dont les messages sont transmis/reçus. Les principales fonctionnalités de la couche physique sont la modulation des données, la synchronisation des bits et l'encodage du canal. Le bloc « Gestion de la couche Physique » gère la sélection de fréquence.
- **La couche Liaison de Données** traite la synchronisation des trames ou encore le contrôle d'erreurs. Le bloc « Contrôle de la couche Liaison de Données » gère l'allocation dynamique de canaux et la découverte des voisins. Le bloc « Gestion de la couche Liaison de Données » intègre le contrôle de puissance et le positionnement GPS.
- **La couche Réseau** détermine le routage des paquets depuis le véhicule émetteur jusqu'au véhicule destinataire, à travers la couche Liaison de Données. Les principales fonctionnalités du bloc « Contrôle de la couche Réseau » sont la découverte des voisins, le positionnement et les décisions de routage. Le bloc « Gestion de la couche Réseau » gère le positionnement GPS et les informations cartographiques. Une information de position doit être associée à de l'information concernant le contexte. Ce sont les cartes numériques qui fournissent cette information contextuelle. Donc, afin de répondre aux besoins du système CarTALK, des techniques de positionnement et des cartes numériques de grande précision sont nécessaires.

Les applications du projet concernent les domaines suivants [9] :

- **Fonctions d'information et d'avertissement** - Un véhicule envoie un message lorsqu'il détecte un événement particulier (véhicule en panne, trafic très dense, conditions de circulation dangereuses, etc.). Les véhicules présents sur la même route peuvent intercepter ce message, et leurs conducteurs sont ainsi avertis en cas de danger.
- **Systèmes de contrôle longitudinal, basés sur la communication** - Les systèmes actuels de contrôle automatique de vitesse ne réagissent que par rapport à l'avant du véhicule. Ces systèmes ne prennent en compte que le véhicule qui précède immédiatement le véhicule courant. En intégrant la communication inter-véhicules, ces systèmes peuvent adapter le contrôle longitudinal au trafic devant et peuvent ainsi anticiper un freinage précoce en provenance d'un véhicule présent devant le véhicule prédécesseur. Comme indiqué par la Figure 5, lorsque le véhicule 1 freine, le véhicule courant (véhicule 3) en est informé grâce au contrôle longitudinal, alors qu'en temps normal il n'aurait pu s'adapter qu'à un freinage provenant du véhicule 2.

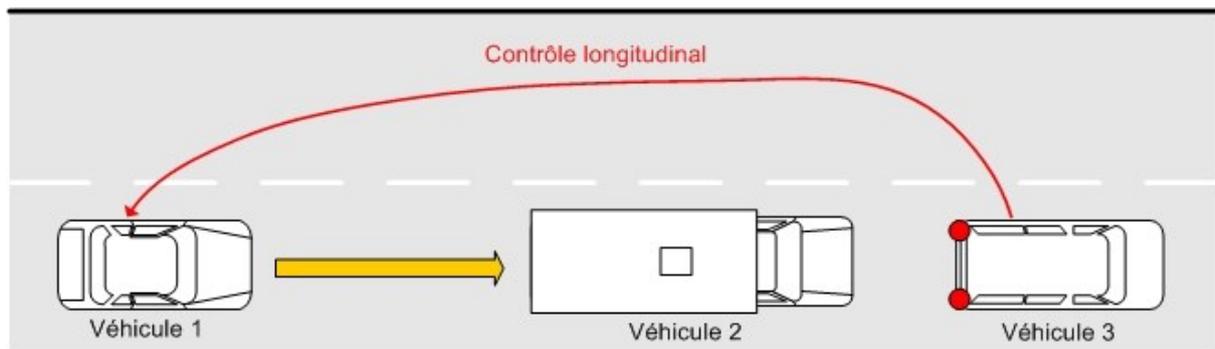


Figure 5. Illustration du fonctionnement du contrôle longitudinal.

- **Systèmes d'assistance coopératifs** - Les scénarios typiques où une coopération entre véhicules est nécessaire sont les entrées sur autoroute et les échangeurs, puisque c'est dans ces conditions que l'incompréhension entre conducteurs produit le plus de dégâts. En permettant l'échange d'informations entre véhicules, les situations critiques peuvent être anticipées et même résolues par les véhicules eux-mêmes. Un véhicule informe les autres véhicules de sa trajectoire, et les véhicules qui reçoivent cette information peuvent adapter leur trajectoire en conséquence.

Ces applications ont été testées et démontrées à travers six véhicules test. Les démonstrations ont été réalisées, en coopération, par TNO et DaimlerChrysler. Les résultats de ces tests se retrouvent dans le document cité en [6].

Projet FleetNet

L'intitulé exact du projet FleetNet¹² est « *FleetNet : Internet sur la route* ».

Ce projet a été mis au point par un consortium de 6 entreprises et 3 universités : DaimlerChrysler AG, Fraunhofer Institut für offene Kommunikationssysteme (FOKUS), NEC Europe Ltd., Robert Bosch GmbH, Siemens AG, TEMIC Speech Dialog Systems GmbH, universités de Hannovre et Mannheim, et l'Université Technique de Hambourg et Braunschweig. Ce projet a été en partie financé par le Ministère Allemand de la Formation et de la Recherche [14].

Le projet FleetNet a débuté en septembre 2000 et s'est terminé fin 2003.

¹² <http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/>

Les buts du projet FleetNet étaient les suivants [14]:

- Développer une plate-forme de communication inter-véhicules ;
- Implémenter des applications de démonstration ;
- Standardiser les solutions trouvées.

Les principales applications envisagées concernent l'augmentation de la connaissance de l'environnement du véhicule, en fournissant des informations sur le contexte. Les applications FleetNet concernent trois domaines [14]:

- Assistance coopérative à la conduite : notification d'une urgence, alarme en cas d'obstacle sur la route, etc. ;
- Données véhicule « flottantes » : surveillance des bouchons, navigation dynamique, bulletin météo pour une route donnée, etc. ;
- Communications utilisateur et services d'information : accès Internet à travers des hot-spots, publicité mobile, discussion entre véhicules, jeux distribués, etc.

Les systèmes de positionnement par satellite ont joué un rôle essentiel dans le projet FleetNet. L'hypothèse de départ a été de dire que dans le futur, les véhicules pourront connaître leur position avec une précision d'environ 10m, en utilisant le GPS et les cartes numériques. Les protocoles radio développés utilisent le fait que les autres véhicules sur la route connaissent leur position. Dès qu'un véhicule se trouve dans une zone où la communication est possible, il peut communiquer sa position aux autres véhicules. Une technique de "géoadressage" a été mise au point, de manière à pouvoir établir une connexion avec un véhicule en fonction de sa position géographique. L'adressage de communications à base de positions géographiques est très important, puisqu'il permet d'implémenter des contraintes, telle la contrainte de communiquer seulement avec le véhicule présent devant ou derrière.

Des prototypes FleetNet implémentant ces services ont été présentés en démonstration au centre de recherche DaimlerChrysler en 2003. Les techniques de communication utilisées dans le cadre du projet FleetNet sont actuellement implémentées sur les véhicules Daimler-Chrysler, tel qu'illustré par la Figure 6. Les développements entamés à travers le projet FleetNet continuent aujourd'hui à travers le projet NOW (*Network On Wheels*), ainsi qu'à travers le projet WILLWARN.

En guise de conclusion

La recherche dans le domaine de la communication inter-véhicules continue aujourd'hui à travers de nombreux projets. Pour l'Europe, il s'agit en fait de sous-projets regroupés dans le cadre d'un nouveau projet européen, « e-Safety », sous le nom de PreVENT [18]. Le projet PreVENT a pour but de contribuer à la sécurité routière, en réduisant les accidents d'environ 50% d'ici 2010. L'information concernant l'état de la route sera collectée de différentes manières, notamment à travers des capteurs, des techniques de positionnement et des techniques de communication sans-fil. Le but est de réussir à prédire l'évolution du trafic et le comportement des conducteurs.

Parmi les sous-projets PReVENT, on peut citer [18]:

- **SASPENCE** – le but du projet est de développer un système de coopération avec le conducteur, de manière à pouvoir suggérer à celui-ci la vitesse à respecter et la direction à suivre, par rapport à l'état de la route et du trafic. Ce projet est actuellement testé par PSA Peugeot Citroën.

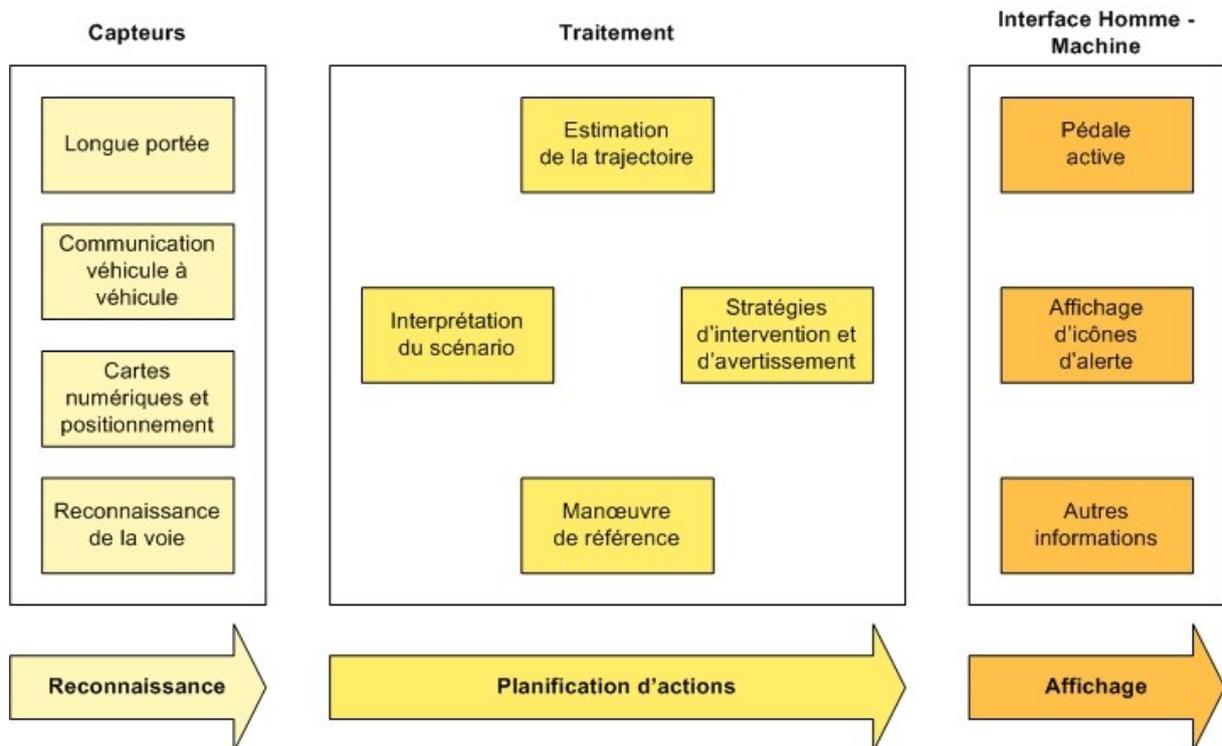


Figure 6. Projet SASPENCE.

- **WILLWARN** (*Wireless Local Danger WARNING*) est un sous-projet d'une durée de 3 ans qui permet de prévenir le conducteur lorsqu'un accident ou un danger quelconque survient sur la route, en dehors du champ de vision du conducteur.

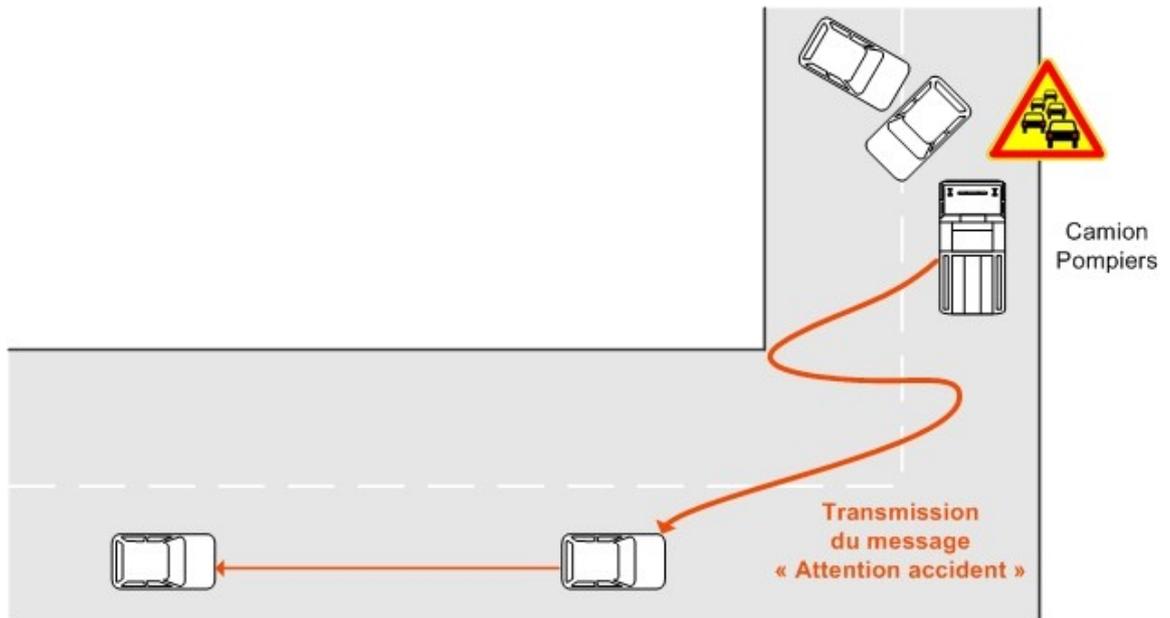


Figure 7. Projet WILLWARN – détection d'accident dans un virage.

- **LATERAL SAFE** développe un ensemble d'applications de sécurité permettant la prévention des accidents survenant soit à l'arrière, soit sur un des côtés du véhicule. Un système intégrant plusieurs capteurs permet ainsi d'avoir une couverture à 270° du véhicule. Toutes les applications issues de ce projet sont testées à bord d'un véhicule Fiat Stilo. La figure 8 illustre les différents équipements installés à bord du véhicule test.



Figure 8. Projet LATERAL SAFE - Véhicule test (copyright Daimler-Chrysler).

Conclusion

Les projets mettant en œuvre la communication inter-véhicules sont nombreux. Des nouvelles approches apparaissent, notamment en intégrant des techniques de communication à travers des radars ou des ondes millimétriques [15].

La figure suivante illustre justement les différents moyens de communication qu'aura un véhicule, dans un avenir pas si lointain. Avec la validation des spécifications CALM [12], la communication inter-véhicules pourra utiliser tout réseau et elle s'effectuera de manière continue et transparente pour le conducteur.

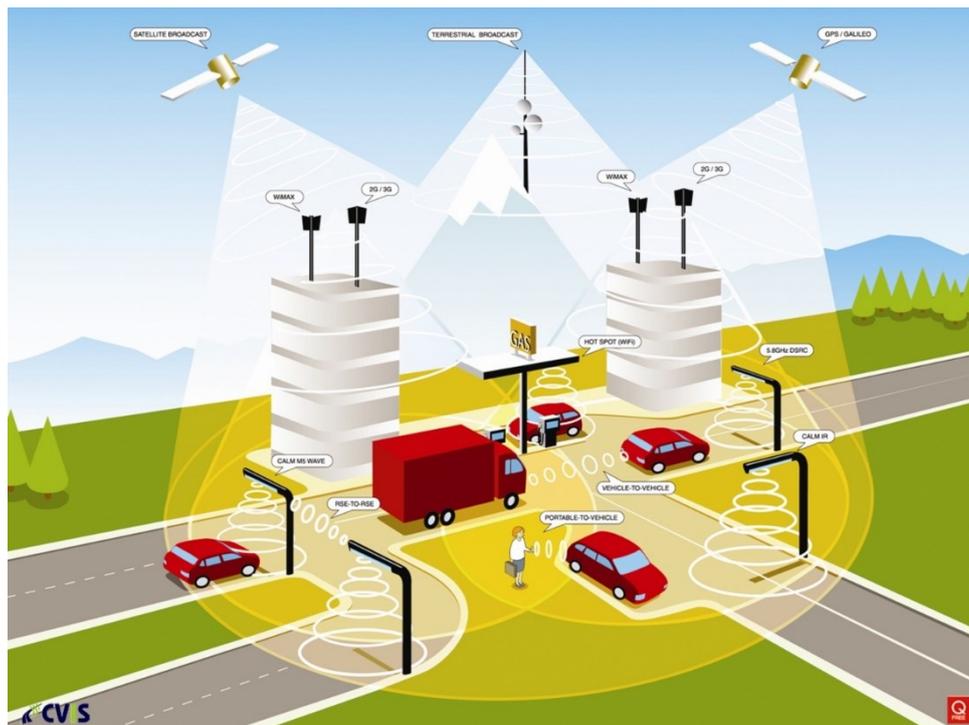


Figure 9. CALM - Communication inter-véhicules (© ERTICO – ITS Europe).

A la manière d'Internet, interconnecter les véhicules va ouvrir un vaste panel de services et fonctionnalités pour les conducteurs. En ayant des véhicules qui échangent des informations

et utilisent des cartes hautement précises, la conduite sera plus sûre et plus efficace. La communication inter-véhicules permet donc de remplir le dernier « vide » dans le monde du sans fil.

Références

- [1] Bickel, G. S., "Inter/Intra-Vehicle Wireless Communication", online report available at www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-06/ftp/vehicular_wireless.pdf, accessed on July 2nd, 2008.
- [2] Bishop, R., "IV Overview: Intelligent Vehicles Explained" available online at http://www.ivsource.net/modules.php?name=IV_Glossary&op=content&tid=114, accessed on July 2nd, 2008.
- [3] Coletti, L., et al., "Architectural and technical aspects for Ad Hoc Networks based on UTRA TDD for Inter-Vehicle Communication", Siemens Mobile Communications S.p.A., Milan, Italy, 2003.
- [4] Cottingham, D. N., et al., "Performance of IEEE 802.11a in Vehicular Contexts", presented at IEEE 65th Vehicular Technology Conference VTC2007-Spring, Dublin, Ireland, 22 - 25 April 2007, on pages 854 – 858.
- [5] Held, G., "Inter- and Intra-Vehicle Communications", Taylor & Francis Group, 2008.
- [6] Kargl, F., "Vehicular Communications and VANETs", presented at Ulm University, 2006.
- [7] Krishnan, H., "Vehicle Safety Communications Project", presented at IVI Light Vehicle Enabling Research Program CAMP, February 2006.
- [8] Morsink, P., et al., "CARTALK 2000: Development of a cooperative ADAS based on Vehicle-to-Vehicle Communication" available online at <http://www.dcsc.tudelft.nl/~rhallouzi/Morsink ITS03.pdf>, accessed on July 2nd, 2008.
- [9] Reichardt, D. et al., "CarTALK 2000 : safe and comfortable driving based upon inter-vehicle communication", presented at the IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 17 – 21 June 2002, Volume 2, on pages 545 – 550.
- [10] Vlacic, L., et al, "Intelligent Vehicle Technologies: Theory And Applications", Elsevier Science & Technology, 2001.
- [11] Xiang, W., et al, "Introduction and Preliminary Experimental Results of Wireless Access for Vehicular Environments (WAVE) Systems", presented at 3rd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems, San Jose, CA, 17 – 21 July 2006, on pages 1 – 8.
- [12] "CVIS, CALM and COMM", Qfree brochure, available online at www.cvisproject.org/download/qfree_CommCalmCvis_aalborgbrochure.pdf, accessed on July 2nd, 2008.
- [13] Development of ITS in Japan - Focusing on DSRC, © 2004 Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, available online at: <http://www.its.go.jp/ITS/conf/2003/ss20/index.html>, accessed on July 2nd, 2008.
- [14] "FleetNet – Internet on the Road", FleetNet brochure available online at http://www.et2.tu-harburg.de/fleetnet/pdf/FleetNet_Flyer.pdf, accessed on July 2nd, 2008.
- [15] "Millimeter-Wave Communication System", Lumera promotional brochure available online at www.lumera.com/pdf/Datasheets/Brochure_MMWCS.pdf, accessed on July 2nd, 2008.
- [16] <http://world.honda.com/news/2005/c050902.html>, accessed on July 2nd, 2008.
- [17] http://www.ahsra.or.jp/index_e.html, accessed on July 2nd, 2008.
- [18] <http://www.prevent-ip.org/>, accessed on July 2nd, 2008.
- [19] <http://www.tsp.ece.mcgill.ca/Telecom/Docs/UTRA-TDD.html>