

# RAPPORTS

CETE du Sud-Ouest  
DDAT / ESAD-ZELT

Août 2012

# *Etat de l'art sur les systèmes de communication V2X*

# *Opérations de recherche SERRES*

Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergie et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir



Centre d'Études Techniques de l'Équipement  
du Sud-Ouest

[www-cete-sud-ouest.developpement-durable.gouv.fr](http://www-cete-sud-ouest.developpement-durable.gouv.fr)

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1.0	Novembre 2012	Version 1

## Affaire suivie par

<b>Louahdi KHOUDOUR - DALETT/ESAD-ZELT</b>
<i>Tél. : 05 62 25 97 84 / Fax : 05 62 25 97 99</i>
<i>Courriel : louahdi.khoudour@developpement-durable.gouv.fr</i>

## Rédacteur

Louahdi KHOUDOUR – CETE SO/DALETT/ESAD-ZELT

## Relecteur

# SOMMAIRE

<b>I. INTRODUCTION</b>	<b>8</b>
<b>II. ETAT DE L'ART DES SYSTÈMES V2X</b>	<b>9</b>
II.1 Equipement à bord	12
II.2 Liaison sans fil	15
II.3 Applications	16
<b>III. EXEMPLE D'UTILISATION DE SYSTÈMES COOPÉRATIFS V2X DANS LE DOMAINE ROUTIER : LE CAS DU PROJET COVEL</b>	<b>18</b>
III.1 Introduction	18
III.2 Architecture développée dans le projet COVEL	19
III.3 Evaluation globale de COVEL	20
III.3.1 Résultats obtenus-----	22
Communication entre véhicules et RSU	24
Communication entre l'unité Bord de Voie (RSU ) et le poste de contrôle (TCC)	26
III.3.2 Conclusions-----	27
<b>IV. EXEMPLE D'UTILISATION DE SYSTÈMES COOPÉRATIFS V2X DANS LA GESTION DE LA SÉCURITÉ DES PASSAGES À NIVEAU : LE CAS DU PROJET PANSAFER</b>	<b>28</b>
IV.1 Introduction et contexte du travail	28
IV.1.1 Rappels-----	29
IV.1.2 Conclusions préliminaires-----	30
IV.2 Etat de la situation technique	31
IV. 2.1 Terminaux de navigation routière-----	31
IV. 2.2 Analyse préliminaire du mode de communication-----	32
IV.2.3 Description de l'approche technique-----	34
IV.3 Scenarii de démonstration sur site	35
IV.3.1 Scénarii-----	35
IV.3.2 Résultats obtenus sur site sur le passage à niveau de Mouzon (Ardennes)-----	39
IV.3.3 Perspectives et déploiement des solutions PANSafer-----	42
<b>V. CONCLUSION GÉNÉRALE</b>	<b>43</b>
<b>VI. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>43</b>

## **Préambule et Remerciements**

L'auteur de ce document tient à remercier toutes les personnes à qui il s'est adressé pour recueillir des informations afin d'alimenter cet état de l'art.

En particulier, les remerciements vont à Mr Arnaud de La Fortelle, Mines ParisTech d'avoir autorisé l'utilisation d'une partie du contenu de l'article intitulé : « Vehicular Communications Systems : Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation » référence [1] dans ce rapport.

Les remerciements vont aussi à Mr Marc Heddebaut de l'IFSTTAR, coordinateur du projet PANSAFER, d'avoir autorisé l'utilisation de résultats d'évaluation et différents sources d'informations concernant ce projet.

## Liste des figures

- Figure 1 : "Principales fonctionnalités des systèmes V2X : sécurité, aide à la conduite
- Figure 2 Architecture commune de référence pour les systèmes de communication coopératifs, consentie dans plusieurs projets européens
- Figure 3 Architecture matérielle et logicielle adoptée dans le projet CVIS
- Figure 4 Equipement de communication à bord des véhicules dans le projet CVIS
- Figure 5 Architecture de communication entre les composants COVEL
- Figure 6 Les 4 cas d'usage testés dans COVEL
- Figure 7 Temps de transmission entre véhicules
- Figure 8 Transmission range between vehicles
- Figure 9 Transmission time of DENM messages
- Figure 10 Transmission time of DENM messages
- Figure 11 Temps de transmission entre véhicules et RSU
- Figure 12 Graphe des temps de transmission entre deux véhicules et le RSU
- Figure 13 Temps de transmission de messages DATEX II du RSU vers le TCC
- Figure 14 Balise J10 de signalisation de PN en amont
- Figure 15 Efficacité de techniques de communication avec et sans relais à l'infrastructure
- Figure 16 Illustration d'un scénario de communication véhicules-véhicules
- Figure 17 Présentation générale du système d'information usager à l'approche des passages à niveau

Figure 18 Stationnarité anormale sur platelage, PN libre

Figure 19 Stationnarité anormale sur platelage, barrières baissées et approche train

Figure 20 Remontée de file aval et engagement PN

Figure 21 Remontée de file aval, engagement PN et approche train

Figure 22 Passage en chicane barrières en cours de fermeture ou baissées

Figure 23 Passage en chicane et immobilisation sur platelage

Figure 24 Fermeture des barrières anormalement longue

Figure 25 Scénario global de démonstration PANsafer

Figure 26 Le PN 171 de Mouzon dans les Ardennes

## Liste des tableaux

Tableau 1 Résumé des principaux projets, consortia et groupes de travail en communication V2X

Tableau 2 Résumé des informations sur les communications sans fil V2X

Tableau 3 Caractéristiques des applications pouvant être implémentées à l'aide de communications V2X

Tableau 4 Résumé des temps de transmission entre véhicules

Tableau 5 Résumé des temps de transmission entre véhicules et RSU

Tableau 6 Résumé des temps de transmission entre RSU et TCC

Tableau 7 Fréquence des messages pour les 4 cas d'usage

Tableau 8 Temps de transmission entre les 3 composants Covel pour les 4 cas d'usage

## I. Introduction

L'accroissement de la mobilité des biens et des personnes implique des coûts sociétaux très élevés : congestion récurrente, accidents mortels et corporels. Dans la dernière décennie, des efforts très importants ont été mis en œuvre pour endiguer ces problèmes et mettre à disposition des solutions que nous utilisons actuellement, par exemple : des informations sur l'état du trafic et des accidents sont diffusées via la radio FM, interrompant momentanément les programmes radio des usagers ; panneaux à messages variables espacés de quelques kilomètres ou en des points stratégiques (par exemple aux endroits de fusion d'autoroutes, tunnels, ponts) le long des routes permettent de prévenir les usagers au sujet des changements de situations de trafic ; les systèmes de péage automatique permettent de récolter le paiement sans que le trafic ne soit perturbé ou interrompu.

En même temps, les véhicules ont vu accroître leurs possibilités en termes d'assistance à la conduite ou des systèmes de protection. De nombreuses sources de contrôle et d'information à bord des véhicules permettent aux usagers de personnaliser leur expérience de la conduite ; des systèmes de sécurité passive protègent les passagers et le véhicule contre des conditions de conduite défavorables : (systèmes d'anti-bloquage des freins), systèmes de navigation, boussoles, radars de parking, et caméras vidéo sont les plus connus et les plus utilisés parmi les technologies existantes. Ces capteurs perçoivent l'environnement, la route, la localisation du véhicule, et enregistrent en temps réel les différents environnements des véhicules et les conditions de trafic pour pouvoir alerter de manière appropriée le conducteur et prévenir la survenance des accidents ou au moins réduire leurs effets.

De récents développements technologiques, en particulier dans les domaines de l'informatique mobile, de la communication sans fil, de la télédétection, poussent aujourd'hui les systèmes de transport intelligents à faire un bond en avant. Les véhicules possèdent déjà des ordinateurs de bord, avec plusieurs ordinateurs et des capteurs à bord, chacun d'eux dédié à une fonction particulière de la gestion du véhicule. Le nouvel élément est l'ajout de nouveaux systèmes de communication sans fil, de traitement et de captage. Des véhicules interconnectés ne traitent pas uniquement des informations qui les concernent et leur environnement, mais ils échangent aussi ces informations en temps réel avec d'autres véhicules à proximité.

Plus simplement, les possibilités de radio-communication peuvent opérer au-delà des champs de vision des radars ou des capteurs optiques, permettant ainsi des approches coopératives. Les véhicules et l'infrastructure coopèrent pour percevoir des situations potentiellement dangereuses dans un horizon spatio-temporel plus élargi. Des architectures appropriées de communication entre véhicules (CV) sont nécessaires pour offrir des aides à la conduite fiables pour la sécurité et l'exploitation efficace de la route.

Cette étude est un état de l'art sur les systèmes de communication V2X existants selon les développements réalisés ces dernières années. Le présent rapport est composé de deux principales parties.

La première partie concerne l'état de l'art proprement dit sur les systèmes de communication V2X. Nous avons cherché à couvrir l'état de l'art à ce jour. Des détails techniques sont fournis, les possibilités des systèmes sont décrits ainsi que leur

environnement d'évaluation en particulier au travers de projets de recherche et développement. Dorénavant on appellera système V2X, tout ce qui concerne les liaisons sans fil, soit entre véhicules, soit entre véhicules et infrastructure. Lorsqu'il s'agit de communication inter-véhicules on parlera de V2V (Vehicle To Vehicle) et lorsqu'il s'agit de communication entre des véhicules et une infrastructure quelconque on parlera de V2I (Vehicle To Infrastructure). Contrairement aux véhicules qui sont généralement mobiles, l'infrastructure est un élément fixe. Cela peut être une unité bord de voie, un poste de contrôle commande.

La deuxième partie contient des exemples d'utilisation des systèmes V2X dans des cas concrets de problématique transport. Deux cas seront exposés : le premier concerne la localisation précise des véhicules au niveau des voies (projet COVEL) alors que le deuxième traite de la sécurité aux interactions route/rail, les passages à niveau en particulier (projet PANsafer).

## II. Etat de l'art des systèmes V2X

Les véhicules futurs seront équipés de nouveaux moyens de traitement, de communication et de technologies de capteurs, et des nouvelles générations d'interfaces homme/machine. Ceci permettra un large spectre d'applications en ce qui concerne la sécurité et l'efficacité des transports, mais mettra aussi à disposition des usagers de nouveaux services. Un rôle important sera dédié aux infrastructures sans fil existantes ou à venir (ex. téléphone cellulaire, connectivité à la partie filaire d'Internet, et des unités bord de voie dédiées). Les téléphones portables des usagers sont déjà censés être connectés sans fil avec les équipements à bord des véhicules.

La caractéristique clé des systèmes V2X est la possibilité d'étendre le champ de vision des informations relatives à la sécurité de conduite et à l'efficacité des transports, en introduisant de nouvelles sources d'information et en améliorant sa qualité. La base est une approche collaborative, avec chaque véhicule et unité bord de voie fournissant les informations nécessaires, comme illustré sur la figure 1. En se basant sur leurs propres informations, sur leurs possibilités de détection et en échangeant des informations avec des systèmes environnants comme les unités bord de voie, les véhicules peuvent anticiper et éviter des situations potentiellement dangereuses. Par exemple, un avertissement sur la modification des voies de circulation, sur un freinage d'urgence ou un véhicule circulant à contresens peuvent être d'un grand secours. De la même manière, des informations sur les conditions de circulation diffusées soit localement par les unités bord de voie ou bien relayées par les véhicules qui les ont reçues peuvent aider le conducteur à adapter sa conduite ou choisir un itinéraire.

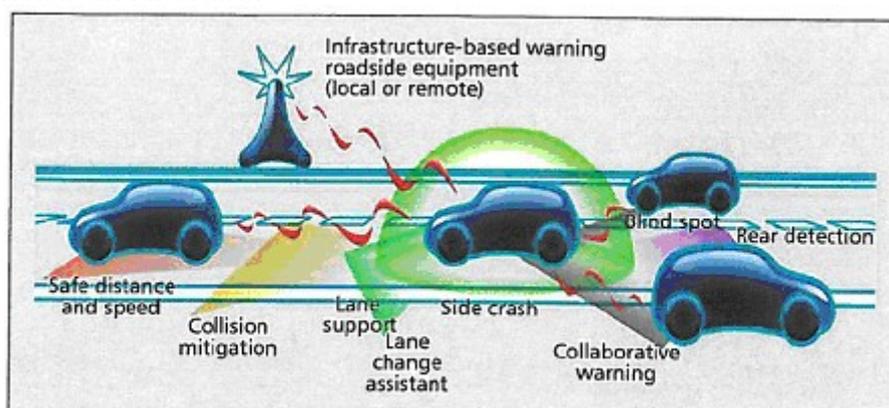


Figure 1 : "Principales fonctionnalités des systèmes V2X : sécurité, aide à la conduite

Le développement des systèmes V2X et des technologies qui s'y rapportent a fait l'objet de nombreux projets à travers le monde. Un résumé des principaux projets sur le thème figure dans le tableau 1, tableau tiré de la publication [1] auquel nous avons ajouté des projets supplémentaires ne figurant pas dans la publication. Un résumé sur les objectifs de chaque projet, le consortium et la durée du projet figurent dans ce tableau. La multitude des projets et des approches nécessite un travail de coordination.

Les projets sur les systèmes coopératifs en Europe, en particulier ceux représentés dans l'initiative *COMeSafety*, ont convergé vers une architecture commune, illustrée sur la figure 2, avec l'implication directe de l'Institut de standards de télécommunication européen (ETSI) TC ITS et l'Organisation Internationale pour les Standards (ISO) TC204 WG16 (ITS communication).

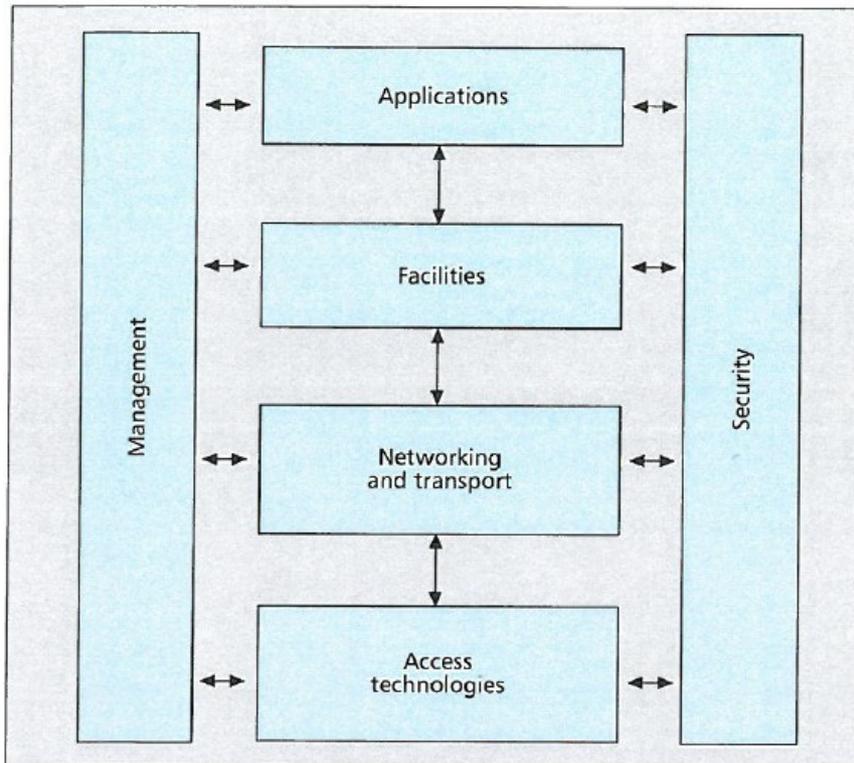


Figure 2 : Architecture commune de référence pour les systèmes de communication coopératifs, consentie dans plusieurs projets européens

Cette architecture a donc été adoptée assez largement en Europe, et dans plusieurs cas en dehors d'Europe. Cette architecture est décrite en [2], et une étude concise figure en [3]. Plus simplement, la transmission sans fil et les technologies d'accès aux media sont les premières technologies les plus puissantes. Conceptuellement, les technologies de réseau permettent l'échange de données entre entités environnantes (véhicules, unités bord de voie, etc...). Ces entités, gèrent à leur tour une série d'applications, en s'appuyant sur les services d'une couche particulière (« facilities » dans la Figure 2) qui extrait certaines données des opérations de réseau (p. ex. localisation et heure) et aide à établir des sessions de communication entre ces entités lorsque c'est nécessaire.. L'entité basique du système est une station ITS, qui peut être composée d'un routeur et un ordinateur hôte, ou bien une implémentation dans une seule boîte qui couvre toutes les fonctionnalités. Un exemple d'architecture développée dans le cadre du projet CVIS est décrit dans la figure 3. Cette figure est tirée de la publication [1].

Nom du projet	Information projet		
	Période	Type de financement	Objectifs
AKTIV	2006-2010	Ministère de l'économie et de la technologie (Allemagne)	Design, développement et évaluation de systèmes d'aide à la conduite et communications V2V et V2I. <a href="http://www.aktiv-online.org/index.html">http://www.aktiv-online.org/index.html</a>
Communication véhicule-véhicule consortium (C2C-CC)	En cours	N/A	Développement de standards européens pour les communications V2X, applications de sécurité et de prototypages, démonstration, harmonisation à travers le monde, déploiement et business plans. <a href="http://www.car-2-car.org/">http://www.car-2-car.org/</a>
CityMobil	2006-2010	Europe	Intégration de systèmes de transport automatisés en milieu urbain, basés sur des implémentations en vraie grandeur. <a href="http://citymobil-project.eu/">http://citymobil-project.eu/</a>
COM2REACT	2007-2008	Europe	Applications de trafic distribuées basées sur des communications cellulaires et V2V, et véhicule vers centre de communication. <a href="http://www.com2react-project.org/">http://www.com2react-project.org/</a>
COOPERS	2006-2010	Europe	Applications télématiques pour l'infrastructure routière, systèmes de trafic coopératifs impliquant des véhicules et des unités bord de voie. <a href="http://www.coopers-ip.eu/">http://www.coopers-ip.eu/</a>
CVIS	2007-2011	Europe	Terminaux multi-voies pour de la connexion Internet itinérante, architecture de communication ouverte, localisation, applications commerciales, boîte à outils (modèles, guides et recommandations), et carte de déploiement
Cybercars2	2006-2008	Europe	Coopération entre véhicules courte portée (platooning) et aux carrefours (traversée) <a href="http://cybercars.org">http://cybercars.org</a>
CyberMove	2001-2004	Europe	Nouveaux systèmes de transports intelligents basés sur les Cybercars (véhicules automatiques) comme un complément aux transports de masse. <a href="http://www.cybermove.org">http://www.cybermove.org</a>
ETSI TC ITS	En cours	N/A	Activités de standardisation pour aider au développement et l'implémentation des ITS. <a href="http://portal.etsi.org/portal_Common/home.asp">http://portal.etsi.org/portal_Common/home.asp</a>
EVITA	2008-2011	Europe	Communications intra-véhicules sûres. Architectures et réseaux d'unités à bord des véhicules. <a href="http://www.evita-project.org/">http://www.evita-project.org/</a>
GeoNet	2008-2009	Europe	Spécifications, développements et tests de réseaux IPv6 qui peuvent être utilisés par une architecture coopérative (e.g., CVIS). <a href="http://www.geonet-project.eu/">http://www.geonet-project.eu/</a>
HAVE-IT	2008-2011	Europe	Mise en circulation de véhicules (autos, bus et camions) hautement automatisés. Conduite semi-automatisée. <a href="http://haveit-eu.org">http://haveit-eu.org</a>
IEEE P1609	En cours	N/A	Standard pour accès sans fil en environnements véhicules (WAVE). <a href="http://standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=80">http://standards.its.dot.gov/fact_sheet.asp?f=80</a>
ISO TC 204 WG16/CALM	En cours	N/A	Protocoles et paramètres pour les liaisons moyennes et longues distances de communication ITS. <a href="http://www.isotc204wg16.org/">http://www.isotc204wg16.org/</a>
PATH	En cours	Epartement des transports Californie (Caltrans)	Multidisciplinaire programme de recherche géré par l'Université de Berkeley et Caltrans. <a href="http://www.path.berkeley.edu/">http://www.path.berkeley.edu/</a>

SAFESPOT	2006-2010	Europe	Réseaux AdHoc, localisation relative précise, carte de trafic locales, applications de sécurité. <a href="http://www.safespot-eu.org/">http://www.safespot-eu.org/</a>
SEVECOM	2006-2009	Europe	Architecture de sécurité pour les communications entre véhicules. <a href="http://www.sevecom.com">http://www.sevecom.com</a>
IntelliDrive connu avant comme le consortium VII (VIIC)	En cours	Département des transports USA	Initiative sur un programme global ITS. <a href="http://intellidriveusa.org/">http://intellidriveusa.org/</a>
COVEL	2009-2011	Europe	Localisation précise au niveau des voies et communications Adhoc entre véhicules et véhicules-infrastructure (Unités bord de voie et Poste de contrôle). <a href="http://www.covel-project.eu">http://www.covel-project.eu</a>
PANsafer	2009-2012	ANR-VTT	Réseaux Adhoc de communication entre passages à niveau et véhicules environnants. <a href="http://pansafer.inrets.fr/">http://pansafer.inrets.fr/</a>
SCOREF	2010-2013	FUI	Système Coopératif Routier Expérimental projet de recherche collaboratif, d'expérimentation des systèmes coopératifs routier s'inscrivant dans un cadre Européen d'expérimentation. <a href="http://www.scoref.fr/">http://www.scoref.fr/</a>

Tableau 1 : Résumé des principaux projets, consortia et groupes de travail en communication V2X

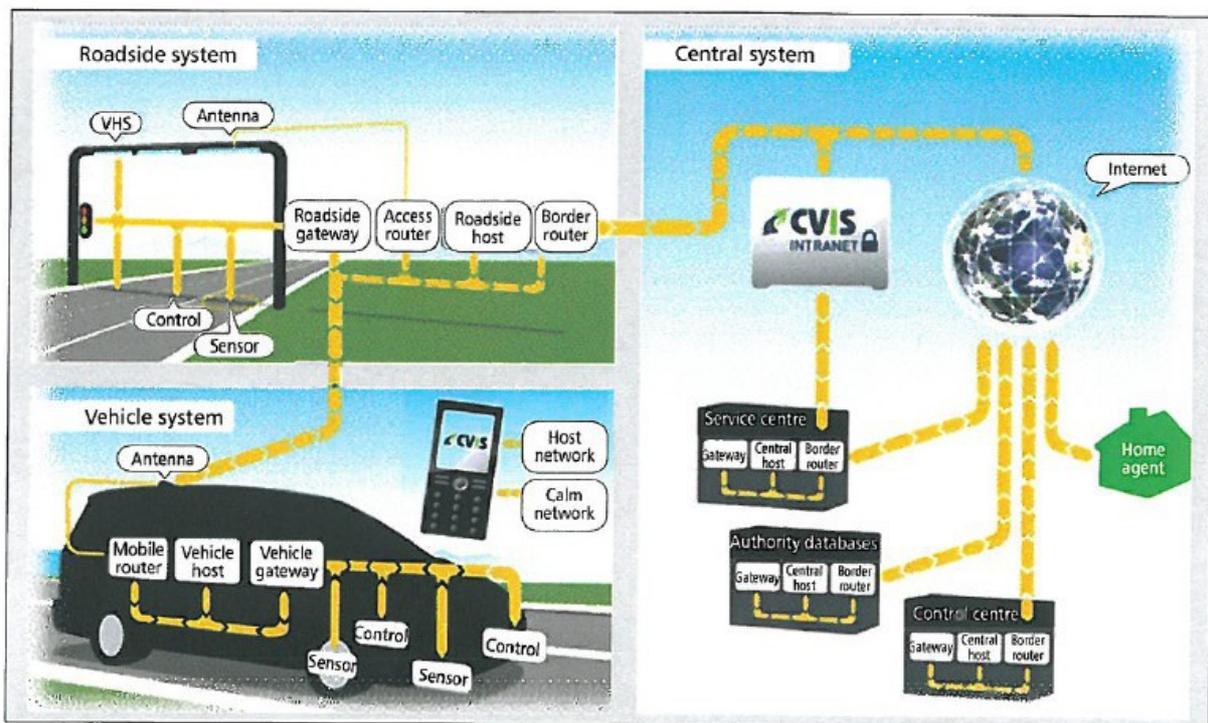


Figure 3 : Architecture matérielle et logicielle adoptée dans le projet CVIS

## II.1 Equipement à bord

Pour la partie équipement à bord, pour le moment, tout ce qui concerne la communication V2X en termes de traitement, capteurs et interface homme/machine (IHM) est une nouveauté par rapport à ce qui existe actuellement dans les voitures en première monte. Concernant les capteurs et l'IHM, les systèmes V2X vont largement influencer les

équipements à bord existant actuellement. Par exemple, les données concernant l'utilisation du véhicule seront obtenues grâce à des interfaces nouvellement mises à jour et adaptées. En général, les systèmes V2X ne seront pas développés à partir de zéro. Dans la suite de ce paragraphe, nous mettons en évidence les caractéristiques techniques de chaque composant embarqué comment il est intégré et utilisé actuellement.

**Les plateformes de traitement** des systèmes V2X sont dédiées aux fonctionnalités propres de V2X. Rappelons que les voitures sont déjà équipées de multiples processeurs et micro-contrôleurs dédiés à des tâches comme l'injection de carburant, le freinage, la transmission et le chargement de batterie ; pour plus de facilité, appelons cela processeurs et contrôleurs de véhicule. Les plateformes de traitement des systèmes V2X seront fonctionnellement indépendantes et responsable des protocoles de communication de véhicule à véhicule (V2V) et de véhicule à infrastructure (V2I) et les applications qui s'y rapportent. La tendance actuelle est d'utiliser les technologies de traitement du marché avec de bonnes performances et des interfaces très flexibles. Il y a des différences avec les PC portables classiques existants : Les PC embarqués possèdent des composants relativement durcis et un packaging adapté pour pouvoir être utilisés lors de conditions atmosphériques difficiles comme c'est souvent le cas pour les systèmes V2X. De plus, les PC embarqués ont une interface appropriée pour le reste du système d'information embarqué, qui est essentiellement le bus de données CAN (Control Area Network) ou d'autres technologies qui sont connectées aux processeurs et contrôleurs de voiture.

La figure 4 illustre l'approche développée dans le cadre du projet CVIS. Cette figure est tirée de la publication [1]. Plutôt que d'avoir un PC embarqué, il y a deux boîtes : l'une est chargée de tout ce qui est échangé dans le réseau et agissant comme une interface avec les processeurs et contrôleurs de véhicule (appelé le routeur mobile) et l'autre est chargée de tout le traitement pour les applications V2X et l'IHM (appelée hôte mobile). Le routeur mobile possède une carte spécifique qui intègre les capteurs et résout au niveau matériel, les tâches critiques temporellement comme l'acquisition temps réel de la localisation, du temps, de la synchronisation. L'utilisation de deux boîtes est aussi adoptée dans d'autres projets (plateforme COM2REACT).

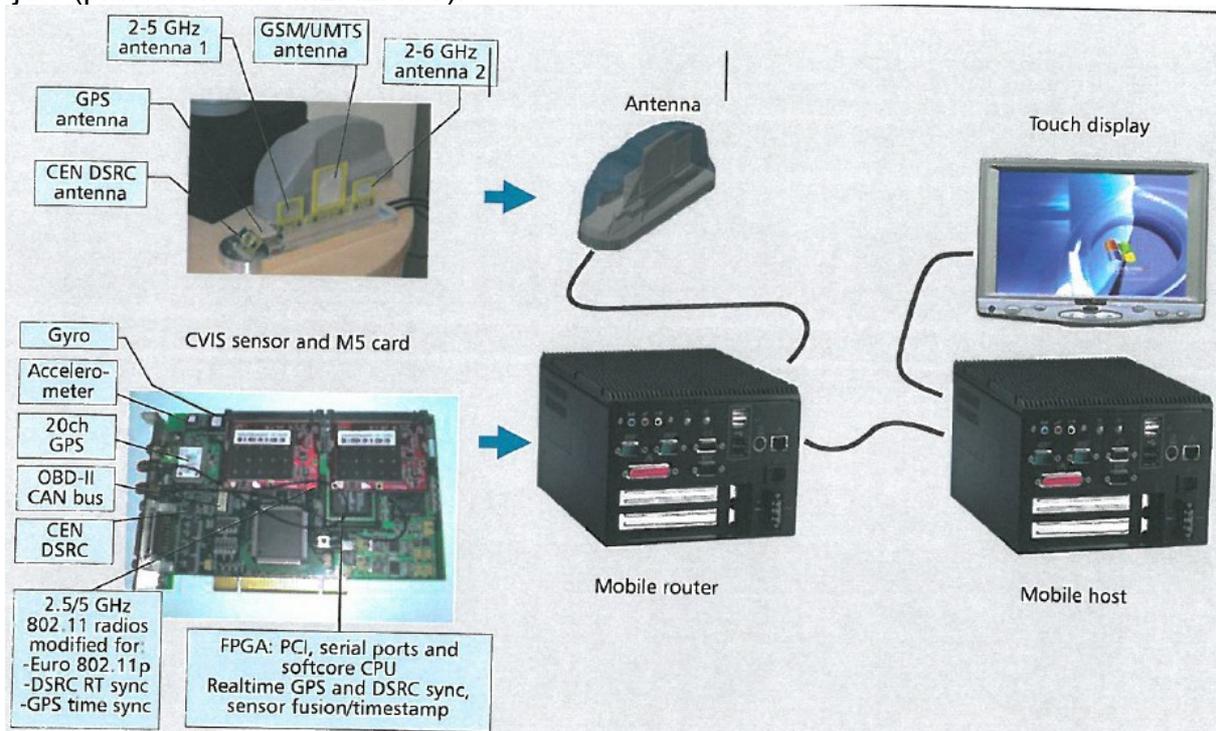


Figure 4 : Equipement de communication à bord des véhicules dans le projet CVIS

**Les capteurs** sont déjà installés à bord : ainsi, un bus CAN est présent pour obtenir les données provenant des capteurs embarqués, typiquement la vitesse, la direction, la température, l'état de l'airbag, caméras anticollision avant et arrière, radars de parking, etc... En même temps, un système GNSS (Global Navigation Satellite System) comme un GPS peut aussi être intégré avec d'autres comme un système anticollision ou un navigateur autonome. La précision de localisation et du temps dépend du récepteur GPS utilisé et sa capacité de traitement des signaux. Un GPS classique peut avoir une précision entre 6 et 30 mètres. Il y a d'autres solutions de localisation comme l'équivalent russe de GPS qui est compatible avec le GPS américain. Enfin citons Galiléo. Dans le projet COM2REACT on a utilisé une passerelle CAN, un GPS, une caméra et des émetteurs-récepteurs ultra-sons. Dans le projet CVIS on a développé une carte capteur spécifique (appelée auparavant comme une partie du routeur mobile PC). La carte fournit les données GPS avec une précision en temps et en localisation, les données provenant d'un capteur inertiel avec un gyroscope et des accéléromètres, et une interface au bus CAN du véhicule. Le traitement temps réel et la fourniture du time code est très important pour les protocoles d'application et de réseau développés plus loin dans ce document. Des architectures similaires ont été adoptées dans le projet SAFEPROBE, un sous-projet de SAFESPOT.

**L'équipement de communication** comprend des technologies avec différentes caractéristiques (taux de transmission, portée, puissance d'émission, bandes de fréquence). En fait, il y a une communication courte portée ad-hoc pour permettre essentiellement une communication V2V mais aussi V2I, et une communication longue portée essentiellement dédiée aux liens V2I. Enfin, il y a la possibilité d'intégrer des émetteurs récepteurs supplémentaires, haut débit, longue portée, incluant des récepteurs d'émission.

La base des systèmes V2X est une variante des technologies Wifi très connues, le protocole IEEE 802.11p [5]. Les transpondeurs fournissent un lien de communication sans fil, analysé dans la section suivante, comme base pour les communications locales ad hoc. Les émetteurs-récepteurs de données cellulaires fournissent pour une communication longue portée : typiquement, communication Globale pour Communications Mobiles, GSM, GPRS, et aussi des systèmes de télécommunication mobile (UMTS). De plus, des émetteurs-récepteurs dédiés (par ex, les systèmes de télépéages déjà déployés, communication courte portée dédiée [DSRC]) peuvent aussi être présents.

La fréquence allouée pour cet équipement de communication peut différer d'un continent à l'autre et même d'un pays à l'autre. Concernant la nouvelle norme 802.11p, connu aussi comme l'effort d'intégration de WAVE et les différents groupes d'activités IEEE 1609, il y a des bandes de fréquence spécifiques pour les communications V2V et V2I.

La plateforme développée dans le projet CVIS (Figure 4) possède des interfaces GPS et UMTS, un émetteur-récepteur DSRC dédié, un émetteur-récepteur GSM/UMTS supportant tout type de modes de données, et des radios courte portée 802.11p qui sont synchronisées avec les systèmes de télépéages européens utilisant du DSRC. Les radios 802.11p offrent une communication (dans la bande des 5.9 GHz) en lien avec les versions précédentes du protocole (i.e. IEEE 802.11 a/b/g), et une implémentation de la pile protocolaire IEEE 1609 ainsi que le support de piles similaires (basées sur l'architecture CALM). De la même manière, le projet SAFESPOT a construit les radios IEEE 802.11p et regarde la possibilité d'intégrer d'autres technologies (communication cellulaire ou infrarouge). COM2REACT a utilisé le Wi-Fi 802.11b avec du GPRS.

## II.2 Liaison sans fil

Les véhicules automobiles sont équipés de plusieurs émetteurs-récepteurs à bord ce qui leur permet d'avoir plusieurs liaisons sans fil avec d'autres entités : autres véhicules bien sûr mais aussi unités bord de voie ou postes de contrôle. Chacun des véhicules possède une couche physique et l'implémentation de méthodes de transmission et de réception de données à travers les ondes hertziennes, un médium pour l'accès à la couche physique, des protocoles qui régulent l'accès aux émetteurs-récepteurs, le médium sans fil, de façon à réduire les chances de collision entre transmissions (collisions entre transmissions en fréquence ou dans le temps).

Sur le tableau 2 tiré de la publication [1], on résume les valeurs indicatives des principales informations des liaisons sans fil existantes à ce jour et installées dans des véhicules. Au-delà des caractéristiques opérationnelles (débit, portée, bande passante), on indique aussi à quels standards obéit chacune des technologies.

Un aspect important, le temps de latence pour l'accès au contrôle d'accès au médium, ne figure pas dans le tableau. La raison est qu'il dépend du système implémenté et du contexte d'implémentation. Les communications venant de l'infrastructure peuvent exiger des retards de l'ordre de plusieurs secondes, incluant l'association entre un récepteur mobile avec un élément de l'infrastructure, et l'enregistrement avec le réseau qui est payant. Cela peut-être le cas pour les points d'accès Wifi et les systèmes cellulaires. Néanmoins, des implémentations personnalisées de systèmes 802.11 permettent des associations très rapides avec un accès Wifi, alors que des techniques rapides de transfert cellulaire permettent aux systèmes cellulaires de passer d'une station à une autre. Pour les applications de sécurité dans les transports, la communication à faible latence avec des systèmes avoisinants est critique ; ceci favorise des communications V2V directes à travers un simple protocole d'accès.

L'importante liaison sans fil pour les V2X est une variante de la norme IEEE 802.11, 802.11p. Cette norme spécifie le protocole d'accès conçu pour supporter l'environnement véhicule qui est très volatile. L'exploitation à travers plusieurs canaux est spécifiée dans la norme IEEE 1609.4. Ces deux éléments combinés avec un gestionnaire de ressources installé à bord du véhicule, des spécifications d'adressage, du réseau, des services de sécurité, sont connus collectivement comme le standard WAVE.

Caractéristiques de la liaison sans fil	Technologie			
	802.11 p WAVE	1.0.1.a - Wi-fi	Cellulaire	Infrarouge
Débit de données	3-27 Mb/s	6-54 Mb/s	< 2 Mb/s	< 1 Mb/s < 2 Mb/s
Portée de communication*	< 1000 m	< 100 m	< 15 km	< 100 m(CALM IR)
Puissance d'émission (max)	760 mW (US) 2 W EIRP (EU)	100 mW	2000 mW (GSM) 380 mW (UMTS)	12800 W/Sr pulse peak
Bande passante	10 MHz 20 MHz	1-40 MHz	25 MHz (GSM) 60 MHz (UMTS)	N/A
Spectre alloué	75 MHz (US) 30 MHz (EU)	50 MHz@2.5 GHz 300 MHz@5 GHz	Dépend de l'opérateur	N/A
Aptitude à la mobilité	Haute	Basse	Haute	Moyenne
Bande de fréquences	5.86-5.92 GHz	2.4, 5.2 GHz	800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz,	835-1035 nm

			1900 MHz	
Standards	IEEE, ISO, ETSI	IEEE	ETSI, 3GPP	ISO
* : La portée dépend de certains paramètres comme la puissance d'émission, le débit, la bande passante et la topographie. Les données fournies dans ce tableau sont des estimations et peuvent donc varier.				

Tableau 2 : Résumé des informations sur les communications sans fil V2X

## II.3 Applications

Les systèmes V2X permettent de développer des applications dans trois domaines : sécurité des transports, efficacité des transports, et services et informations en direction du véhicule. Les deux premières catégories sont les deux directions principales pour le développement de nouveaux systèmes.

Les projets, organismes de standardisation et consortia à travers le monde ont travaillé sur le design et le développement d'applications pour des systèmes V2X. La grande majorité des applications entre dans le cadre des trois catégories citées ci-dessus :

- Le conducteur est assisté, afin d'améliorer la sécurité dans les transports ;
- Les données sur l'état du système de transport et des conditions de trafic sont disponibles et mises à disposition du conducteur pour plus d'efficacité ;
- Apport et mise à disposition de services envers les conducteurs et passagers leur permettant de réaliser des tâches personnelles (réservations restaurant, horaires de cinéma, etc.....) pendant leur voyage .

Dans le tableau 3 une liste des différentes applications impliquant des systèmes V2X est fournie. Pour chaque application, cinq indicateurs principaux sont mentionnés :

- Communication, qui détermine la liaison sans fil nécessaire ;
- Le type de messagerie, qui spécifie si la transmission est périodique, événementielle, limitée à une courte période, etc....
- Périodicité des messages, pour les applications des messageries périodiques,
- Le temps d'attente critique, le retard maximum acceptable pour l'application et qui est généré par la pile protocolaire sous-jacente afin de transmettre le message,
- Autres besoins, comme la priorité d'accès à la couche physique, la précision de la localisation, la portée maximum recommandée.

Parmi les centaines de cas d'usages, une série d'applications est choisie pour illustrer les différents besoins. Nous ne proposons pas des valeurs pour chaque application, mais nous reflétons plutôt le contenu des différents rapports techniques à disposition. Le lecteur intéressé peut se référer aux livrables issus des différents projets et groupes de standardisation [8, 9]. Dans la mesure où certaines évaluations dans les projets sont en cours, notre objectif est de fournir les derniers résultats obtenus pour les différentes applications.

Les huit premières applications du tableau 3 concernent des aspects sécurité dans les transports. Elles exploitent principalement des réseaux Ad Hoc , possèdent des exigences temporelles très strictes compte tenu du contexte sécuritaire et donnent une grosse priorité à la liaison sans fil. Pratiquement toutes sont basées sur des balises d'alertes

coopératives avec un taux très élevé : 10 balises par seconde ou un message toutes les 100 ms. Parmi elles, la détection d'obstacle possède les exigences temporelles les plus strictes. Il est étonnant de constater, qu'à ce jour, ces exigences ne soient pas liées à de niveaux de précision spécifiques.

Certaines des applications de sécurité dans les transports nécessitent une localisation très précise des véhicules : l'alerte de changement de file nécessite une précision de localisation inférieure à 2m, alors que l'alerte anticollision nécessite une position relative d'une précision inférieure au mètre. Le partenariat pour l'anticollision aux carrefours (CAMP), avec deux carrefours expérimentaux déjà déployés, nécessite une localisation relative de moins de 50 cm. Tous les véhicules et unités bord de voie doivent être parfaitement localisées ; cependant le système GNSS ou autres moyens de localisation ne répondent pas aux exigences précédemment citées. Par conséquent, il est nécessaire de réaliser des traitements à bord des véhicules pour améliorer cette précision de localisation.

Les 4 prochaines applications (9 à 12 sur le tableau 3) sont liées à l'amélioration de l'efficacité des transports et dotées de communications AdHoc avec l'infrastructure (Unités bord de voie, ou péages). La priorité affectée à ces applications est inférieure à celle des applications sécuritaires, les taux de transmission étant de 5 à 10 fois inférieures. La communication est basée sur des protocoles V2V aussi. Cependant une particularité les distingue des applications de sécurité est que la communication entre véhicules se fait de point à point. Dans certains cas, une communication cellulaire peut être utilisée.

Les 4 dernières applications (13-16) offrent des services aux usagers (passagers et conducteurs). Ils utilisent principalement des communications basées sur l'infrastructure plutôt que de l'échange entre véhicules et nécessitent une liaison internet. En d'autres termes, le véhicule doit avoir une adresse IP, et les serveurs correspondants en ligne accessible par de la communication V2I Adhoc (quand le véhicule est à portée d'un point d'accès) ou via une liaison cellulaire ou tout autre moyen. Les exigences de temps sont les moins fortes pour ces types d'applications

Caractéristiques						
	Nom de l'application	Communication	Type de message	Périodicité des messages	Latence	Autres caractéristiques
1	Alerte de freinage d'urgence	Ad Hoc V2V	Evènementiel, diffusion limitée dans le temps	100 ms	100 ms	Portée : 300 m, priorité haute
2	Alerte de véhicule lent	Ad Hoc V2V	Diffusion périodique permanente	500 ms	100 ms	Priorité haute
3	Alerte collision carrefour	Ad Hoc, infrastructure, V2V, V2I	Diffusion périodique permanente	100 ms	100 ms	Localisation précise sur une carte, priorité haute
4	Alerte de positionnement dangereux	Ad Hoc, infrastructure, V2V, V2I	Evènementiel, Geocast en temps limité	100 ms	100 ms	Priorité haute
5	Alerte de franchissement de feux	Ad Hoc, infrastructure, I2V	Evènementiel, diffusion limitée dans le temps	100 ms	100 ms	Portée 250 m, priorité haute
6	Détection	Ad hoc V2V	Diffusion	100 ms	50 ms	Portée 50 m

	d'obstacle		périodique			
7	Alerte de changement de file	Ad hoc V2V	Diffusion périodique	100 ms	100 ms	Précision de position relative : < 2 m ; portée : 150 m
8	Système coopératif de détection de collision avant	Ad hoc V2V	Périodique, évènementiel	100 ms	100 ms	Précision de position relative : < 1 m ; portée : 150 m
9	Régulation de carrefour	Ad Hoc, infrastructure, V2V, V2I	Diffusion périodique	1000 ms	500 ms	Précision de localisation : < 5 m
10	Accès limité et alerte de détour	Infrastructure, I2V, autre réseau de diffusion	Diffusion périodique	100 ms	500 ms	Priorité moyenne/basse
11	Régulateur de vitesse adaptatif	Ad hoc V2V	Unicast, broadcast	500 ms	100 m	Priorité moyenne
12	Péage automatique	Infrastructure, Ad hoc, V2I, cellulaire	Diffusion périodique	1000 ms	200 ms	CEN DSRC
13	Diagnostic à distance, Alerte de réparation JIT	Infrastructure, Ad hoc, V2I, cellulaire	évènementiel	N/A	500 ms	Accès internet, Service disponible
14	Téléchargement Media	Infrastructure, cellulaire, autre réseau de diffusion	Unicast, broadcast, A la demande	N/A	500 ms	Accès internet, Service disponible
15	Téléchargement de carte, mise à jour	Infrastructure, Ad hoc, V2I, V2V, cellulaire, autre réseau	Unicast, broadcast , A la demande	1000 ms	500 ms	Accès internet, Service disponible
16	Assistant conduite écologique	Infrastructure, Ad hoc, V2I, V2V, cellulaire	Unicast, broadcast, A la demande	1000 ms	500 ms	Accès internet, Service disponible

Tableau 3 : Caractéristiques des applications pouvant être implémentées à l'aide de communications V2X

### III. Exemple d'utilisation de systèmes coopératifs V2X dans le domaine routier : le cas du projet COVEL

#### III.1 Introduction

L'accroissement de la densité de trafic dans les grandes villes pousse les gestionnaires d'infrastructures à réguler correctement le trafic à des fins de sécurité routière et pour l'amélioration de l'efficacité des réseaux routiers. Cependant, pour une régulation de trafic efficace, des informations détaillées sur les position et vitesse de tous les véhicules sont nécessaires. Comme la collecte de ces informations par des capteurs installés dans l'infrastructures sont coûteuses et difficiles à obtenir, les communications véhicule-véhicule (V2V) et véhicule-infrastructure (V2I) permettent une alternative intéressante. Pour cela, les acteurs de la route doivent déterminer très précisément et de manière continue leurs positions sur le réseau routier.

Le projet européen COVEL (Cooperative Vehicle Localization for Efficient Urban Mobility) est financé par la DG Transport et Galileo. Son objectif est d'apporter une amélioration notoire dans la gestion du trafic en donnant la possibilité de localiser les véhicules très précisément au niveau des voies de circulation. Ceci permettra d'apporter un impact

significatif sur l'efficacité de la gestion du trafic [11] [12][13].

Le concept technique principal de COVEL est l'échange de données provenant de satellites via des communications véhicule à véhicule pour déterminer des positions relatives entre les véhicules qui communiquent. De plus, un algorithme de map matching a été développé qui permet de gérer des groupes de véhicules à la place de véhicules seuls sur une cartographie [14] [15].

### III.2 Architecture développée dans le projet COVEL

Le système COVEL est constitué par trois principaux composants : l'unité embarquée dans le véhicule (OBU) on a utilisé au total 3 véhicules, une unité bord de voie appelée RSU et le PC central de trafic appelé TCC (figure 5). Les unités embarquées sur les véhicules sont composées de trois sous-composants liés à la communication, à la localisation et la centralisation des messages (LDM : Location Dynamic Map).

Il existe deux scénarios types d'échanges de messages dans COVEL

- Les messages V2X : messages entre OBUs et RSUs, entre véhicules et unités bord de voie. Dans ce scénario, les messages sont échangés à travers des réseaux ITS G5 avec des ressources réseau limitées et une topologie de réseau dynamique très appropriée à la mobilité. Une attention particulière est portée sur la limitation des messages en taille pour que les performances de traitement des messages et leurs transmissions ne soient pas altérées.
- Les messages I2I, messages échangés entre le RSU et le TCC. Dans ce scénario à travers un réseau câblé (réseau de fibre optique appartenant au TCC) ou à travers une communication UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) de téléphonie mobile de 3<sup>ème</sup> génération 3G. Les exigences sur les temps de transmission, de sollicitation du réseau, et de taille des messages sont moins fortes dans ce scénario. Le format d'échange est le Datex II.

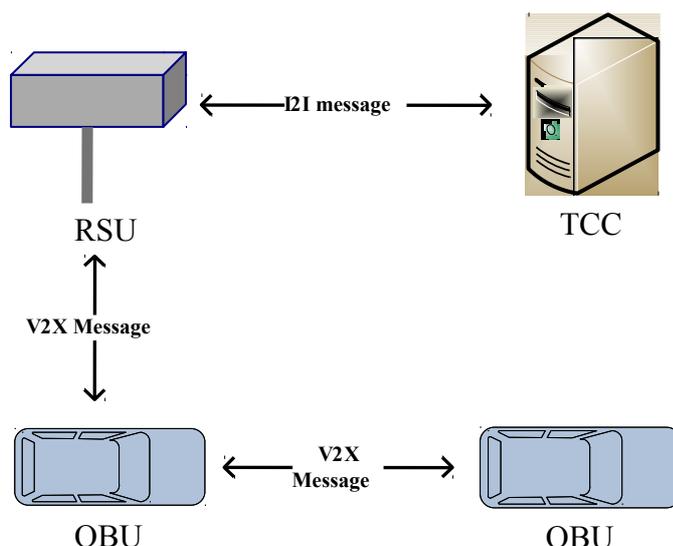


Figure 5 : Architecture de communication entre les composants COVEL

### **III.3 Evaluation globale de COVEL**

Le système développé dans le projet permet une localisation très précise des systèmes coopératifs (V2X). Pour cela, COVEL étudie comment obtenir des localisations très précises grâce à une combinaison d'EGNOS et des réseaux V2X, sans ajouter de charge supplémentaire sur le réseau de communication. Cette étude vise à apporter des données d'entrée sur les systèmes V2X étudiés dans les différents projets et consortia de type ETSI ou C2C.

Une autre contribution importante de COVEL aux technologies V2X combinées avec une localisation des véhicules au niveau des voies, est la possibilité de mener de nouvelles applications pour la sécurité, pour l'efficacité de la gestion du trafic, pour apporter des informations aux usagers. Pour le moment, ce type d'applications souffre de l'absence de localisation précise et doit être disponible à des prix peu élevés. La combinaison d'EGNOS et des systèmes V2X est une réelle possibilité pour combler ces lacunes, aussi bien en termes techniques que de coûts : échange d'informations précises entre les véhicules avec un débit élevé, obtention de données venant d'EDAS (module de correction des données EGNOS), utilisation avancée des communications V2X sont les critères utilisés dans COVEL pour estimer l'efficacité des développements réalisés dans le projet

L'objectif du travail d'évaluation du projet (réalisée par la ZELT de Toulouse) est de tester et d'évaluer un système intégré global. L'évaluation couvre aussi bien les aspects techniques que fonctionnels du système. Les tests de validation du prototype COVEL sont menés grâce à l'utilisation en situation réelle et sur pistes dédiées, des composants Unité bord de voie (RSU), unités à bord des véhicules (OBU), Poste de contrôle (TCC) [16].

Le plan de validation définit la méthode, les paramètres et les critères pour valider les différents composants de COVEL et le système global en fonction de spécifications et exigences inhérentes à une évaluation.

L'approche utilisée pour les tests de vérification et de validation est basée selon le standard ISO 9001, le V-modèle, et la méthodologie du projet FESTA [17] pour le développement et l'implémentation des systèmes ICT.

Un effort important a été porté par les partenaires de COVEL dans l'élaboration du plan de validation [18] afin :

1. d'identifier les différentes tâches de test pour la validation des trois composants RSU, OBU et TCC et au niveau du système global pour valider leur efficacité face à des exigences techniques et des spécifications fonctionnelles;
  2. de définir les différents indicateurs de validation et les paramètres qui leur sont associés pour les trois composants et le système global;
- de préciser clairement la procédure à suivre pour obtenir des résultats valides dans un certain nombre de scénarios prédéfinis

En particulier, 4 cas d'usage ont été implémentés et testés dans COVEL aussi bien en situation réelle sur le Pont d'Aquitaine que sur des pistes dédiées au centre de recherche de Fiat à Orbassano en Italie. Les cas d'usage sont (Figure 6):

- Détection de véhicules arrêtés
- Pré-choix de voie
- Détection de véhicule circulant à contresens
- Réduction de voies

Il faut noter ici que l'objectif du projet n'est pas de fournir des outils de détection d'évènements particuliers mais de considérer que l'on sait reconnaître ces évènements et qu'il faut porter cette information à bord des véhicules pour les usagers.

Par exemple, la détection de véhicules arrêtés peut être réalisée de différentes manières :

- elle peut être détectée de manière automatique par un système de vision artificielle et du traitement d'images par des algorithmes implémentés au TCC. Dans ce cas, l'opérateur est prévenu automatiquement qu'un véhicule est arrêté ;
- Elle peut être détectée visuellement par un opérateur au TCC grâce à une couverture vidéo à sa disposition
- enfin elle peut tout simplement venir du conducteur arrêté vers le TCC via le RSU.

Par la suite, grâce au système V2X une information de véhicule arrêté est envoyée à tous les véhicules en approche du lieu de l'évènement.

Pour le pré-choix de voie, c'est la localisation précise des véhicules qui va permettre d'envoyer des informations à ces véhicules quant au choix de la bonne voie en fonction de leur itinéraire. Cette information peut venir du TCC. Dans certains cas, devant un choix d'itinéraire, un véhicule qui n'anticipe pas sur le choix de voie en fonction de sa direction peut se retrouver à faire une manœuvre dangereuse pour reprendre la bonne direction.

Pour la détection de circulation en contresens, en général le conducteur faisant cette manœuvre dangereuse ne le sait pas. De même que pour le véhicule arrêté, cette détection peut être réalisée de manière automatique ou visuelle au niveau du TCC.

Dans le cas de la réduction de voies, on retrouve la même configuration que pour le pré-choix de voie.

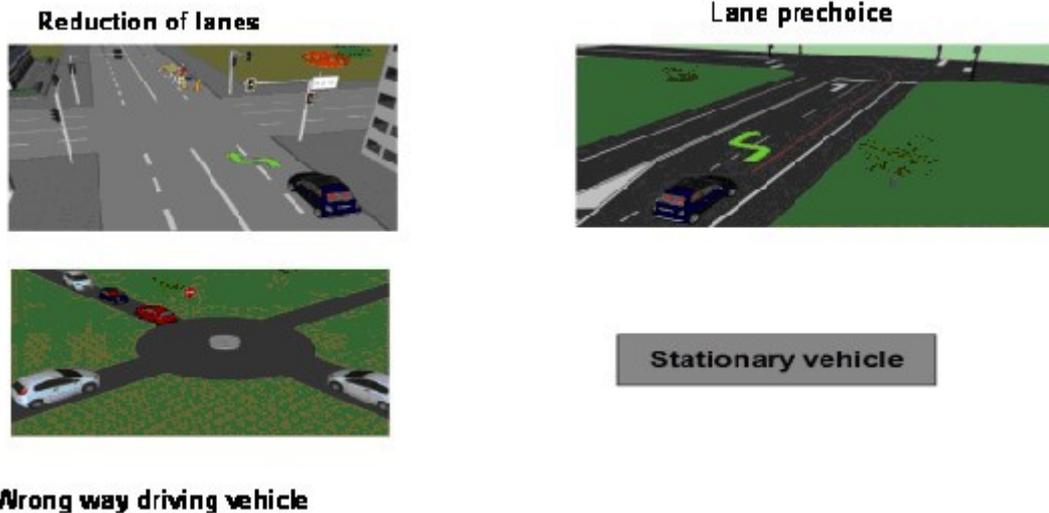


Figure 6: Les 4 cas d'usage testés dans COVEL

### III.3.1 Résultats obtenus

Dans ce paragraphe, des résultats détaillés sur les cas d'usage utilisés sont fournis. Cela inclut la qualité de communications (temps de transmission, intégrité) V2X entre les véhicules, les unités bord de voie et le TCC

#### Communication entre véhicules

Globalement, selon des premiers essais, le temps de communication entre véhicules est en dessous des 20 ms. Cette vitesse de communication est plus rapide que ce qui était attendu (Figure 7)

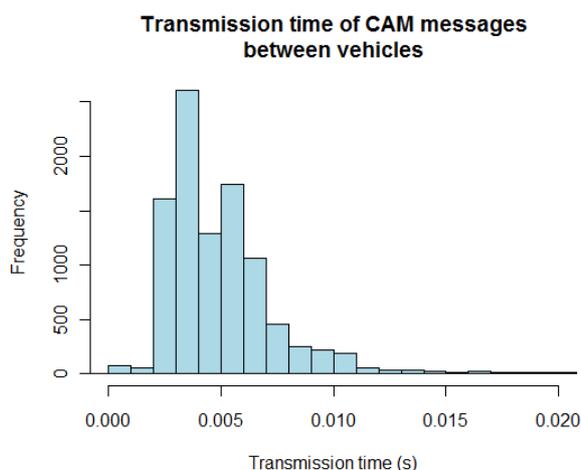


Figure 7: Temps de transmission entre véhicules

Comme on peut le remarquer sur la figure 7, le mode (valeur la plus fréquente) pour le temps de transmission est autour de 4 millisecondes et le temps de transmission varie entre 3 et 10 ms (résumé sur le tableau 4)

Sample statistics	
Size	9892
Minimum	1 ms
First quartile	4 ms
Median	5 ms
Mean	6 ms
3 <sup>rd</sup> quartile	7 ms
Maximum	0.89 s
Standard Deviation	21 ms

Tableau 4 : Résumé des temps de transmission entre véhicules

### Portée de la transmission entre véhicules

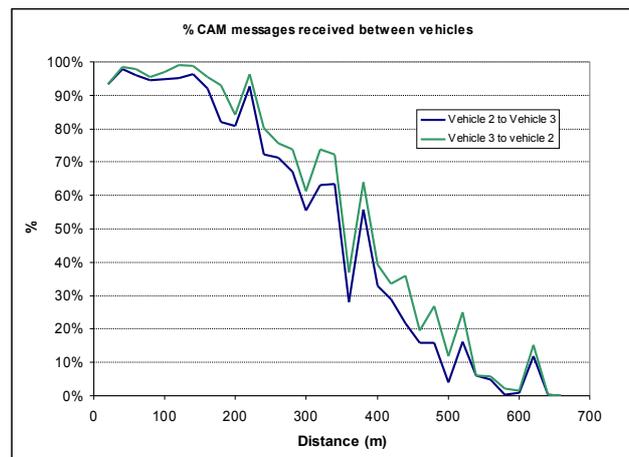


Figure 8 : Transmission range between vehicles

Quand la distance entre véhicules est inférieure à 200 mètres, les échanges entre véhicules sont reçus dans 90% (taux) des cas. Lorsque la distance est supérieure à 300 mètres le taux tombe à moins de 50%.

Ce problème de portée de communication sera discuté plus loin en fonction des cas d'usage testés.

Des essais supplémentaires sur les temps de transmission ont conduit aux résultats de la figure 9. La distribution possède en fait deux modes bien différenciés :

- Le premier mode à 12 ms correspond aux transmissions directes entre véhicules;
- Le second mode à 18 ms correspond probablement à des transmissions indirectes entre véhicules. Les messages envoyés par certains véhicules ont été reçus par l'Unité bord de voie à proximité et retransmis par celle-ci à d'autres véhicules, ce qui explique le retard à la réception.

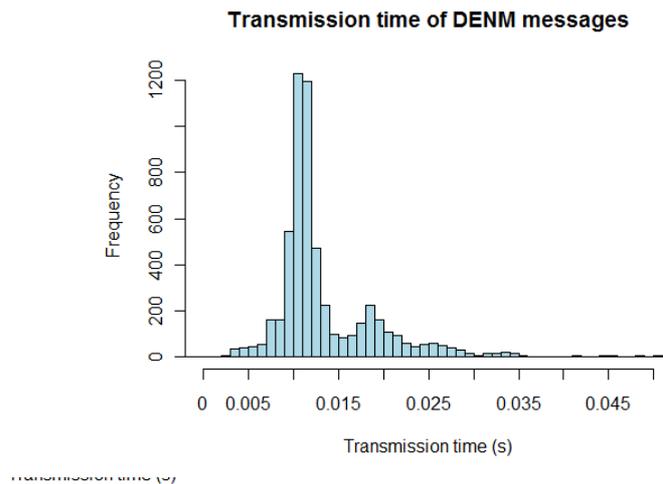


Figure 9: transmission time of DENM messages

Sur la figure 10, on peut noter que la couche réseau du véhicule 2 est moins sensible que celle du véhicule 3. Le pourcentage de messages reçus par le véhicule 3 est très élevé quand la distance entre véhicules est supérieure à 300 mètres puisque les messages sont retransmis par l'Unité bord de voie (RSU).

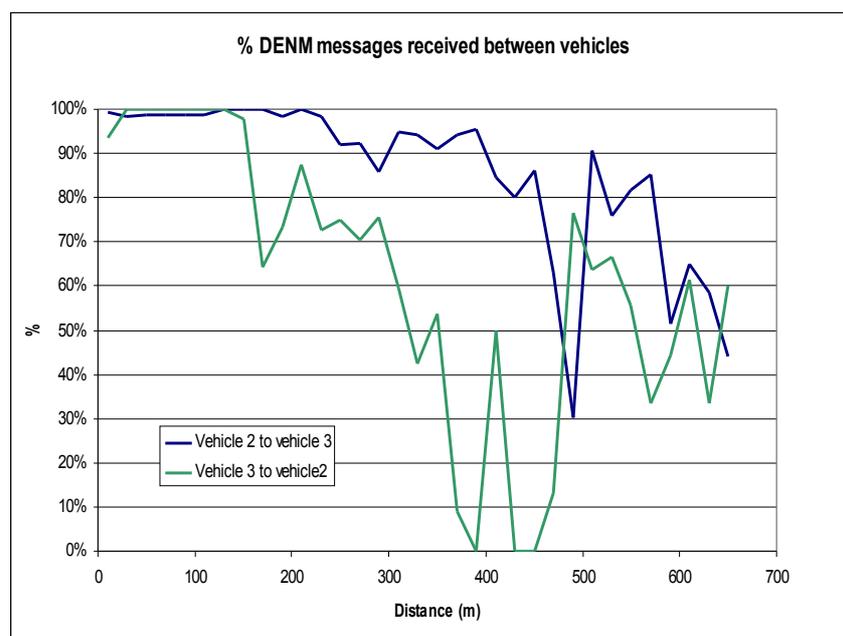


Figure 10: transmission time of DENM messages

### Communication entre véhicules et RSU

Comme pour la communication entre véhicules, les temps de transmission entre véhicules et RSU sont inférieurs à 20 ms (Figure 11) .

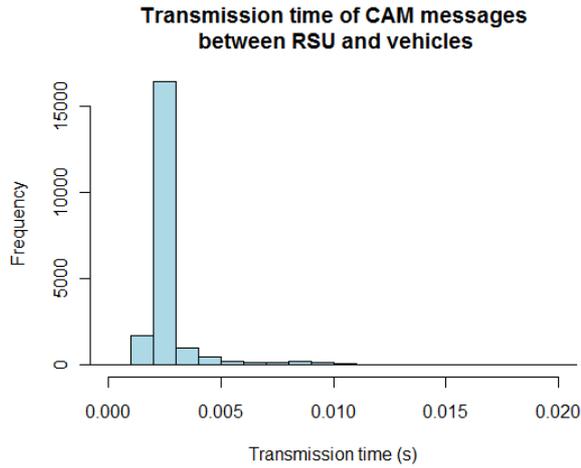


Figure 11: Temps de transmission entre véhicules et RSU

Sur la figure 11, on peut noter que le temps de transmission entre véhicules et RSU est de l'ordre de 3 ms, résumé sur le tableau 5 et sous forme de graphique sur la figure 12.

Sample statistics	
Size	20755
Minimum	1 ms
First quartile	3 ms
Median	3 ms
Mean	3 ms
3 <sup>rd</sup> quartile	3 ms
Maximum	0.85 s
Standard Deviation	7 ms

Tableau 5 : Résumé des temps de transmission entre véhicules et RSU

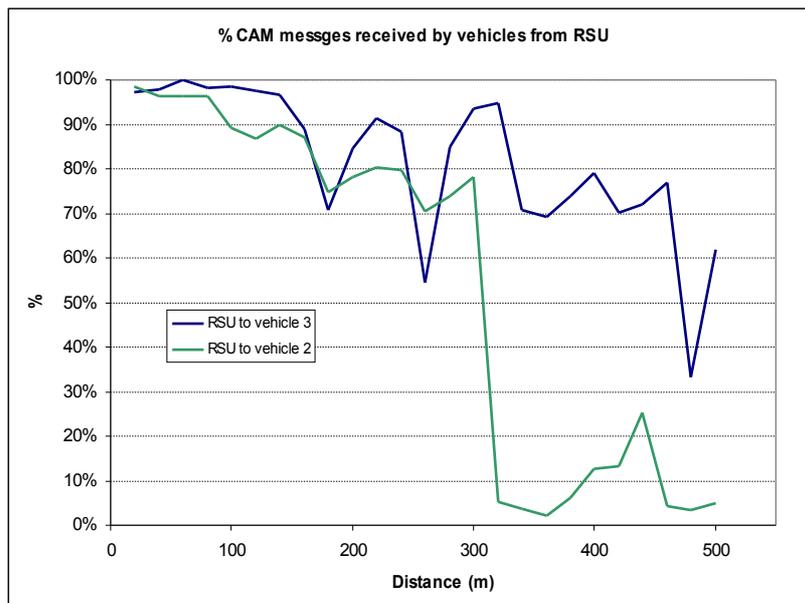


Figure 12 : graphe des temps de transmission entre deux véhicules et le RSU

## Communication entre l'unité Bord de Voie (RSU ) et le poste de contrôle (TCC)

Les échanges entre le RSU et le TCC se font grâce au GPRS et le réseau Internet. Donc la transmission de données prend plus de temps qu'en utilisant un réseau Ethernet. Le langage de communication est Datex II. La figure 13 fournit une distribution de ces temps de transmission avec un résumé dans le tableau 6.

La majorité des temps de transmission des messages Datex II est inférieure à 1 seconde (79%). Les temps de transmission, dans le cas qui nous intéresse, sont variables car ils se font au travers de réseaux 3G.

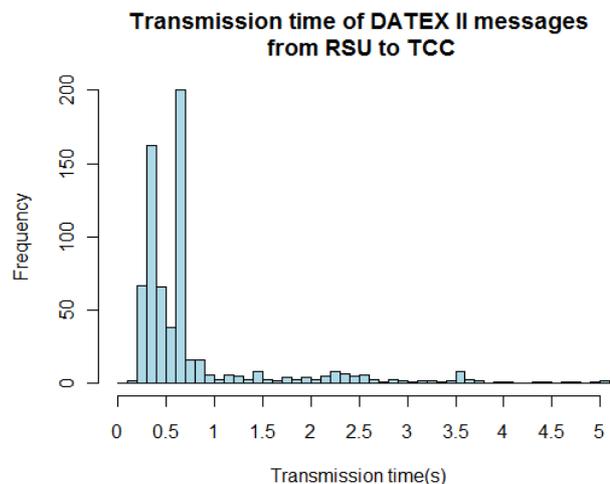


Figure 13 : Temps de transmission de messages DATEX II du RSU vers le TCC

Sample statistics	
Size	725
Minimum	0.2
First quartile	0.38
Median	0.62
Mean	1.13
3 <sup>rd</sup> quartile	0.76
Maximum	14.01
Standard Deviation	1.58

Tableau 6 : Résumé des temps de transmission entre RSU et TCC

### Fréquence des messages pour les 4 cas d'usage

Le tableau 7 fournit des éléments sur la fréquence des messages pour les 4 cas d'usage. Lorsqu'un véhicule est arrêté l'information est envoyée au PCC via le RSU deux fois par seconde. De même un contresens est renseigné deux fois par seconde. Le pré-choix de voie est fourni au conducteur un fois toutes les deux secondes comme l'information concernant la réduction de voie.

Cas d'usage	Fréquence
-------------	-----------

Véhicule arrêté	2 Hz
Contresens	2 Hz
Pré-choix de voie	0,5 Hz pour chaque direction
Réduction de voie	1 Hz pour chaque voie bloquée

Tableau 7: Fréquence des messages pour les 4 cas d'usage

### Paramètres globaux utilisés pour les 4 cas d'usage

Pour évaluer les paramètres globaux d'échanges entre les composants pour les 4 cas d'usage, les indicateurs suivants ont été utilisés (tableau 8) : Temps de transmission entre TCC et RSU, temps entre RSU et véhicule, temps d'affichage sur l'IHM du véhicule quand l'information est reçue du RSU. En fait, on mesure le temps entre le moment de la transmission d'un message du TCC et l'affichage de l'information sur l'IHM d'un véhicule. Par exemple, si on prend le cas où on détecte un véhicule arrêté, détecté au niveau du TCC, cela prendra en moyenne 1.4 s pour acheminer cette information vers le RSU, plus 16 ms du RSU vers un véhicule et 0.24 s pour l'affichage. Cela prend donc au total environ 1.65 s si on cumule les trois temps.

Composant	Paramètres	Statistique	Valeur
TCC vers RSU	Temps de transmission TCC--->RSU	Médiane Moyenne	0.84 s 1.4 s
RSU	Temps pour le RSU pour envoyer le 1er message	Moyenne	17 ms
RSU	Fréquence des messages RSU	Moyenne	2 Hz
OBU	Temps de transmission du RSU vers véhicule	Médiane	16 ms
OBU	% de messages du RSU	Moyenne	81,00%
OBU	Temps d'affichage quand le véhicule commence à recevoir	Moyenne	0.24 s
Système	Temps de latence entre l'envoi d'un message TCC et le temps de réception de l'info par un véhicule	Médiane Moyenne	0.88 s 1.44 s
Système	Temps de latence entre l'envoi d'un message TCC et quand l'information est affichée par le véhicule quand il reçoit l'info.	Médiane Moyenne	1.12 s 1.52 s

Tableau 8: Temps de transmission entre les 3 composants Covet pour les 4 cas d'usage

### III.3.2 Conclusions

Nous avons présenté ici l'évaluation de plusieurs cas d'usage testés dans le cadre du projet COVEL. Les principales conclusions que l'on peut tirer du travail mené dans ce projet sont les suivantes.

### **Pour les modules de communication**

Pendant toutes les sessions d'évaluation, tous les modules de communication développés dans COVEL ont fonctionné correctement et ont répondu aux spécifications des standards V2V et V2I. La vitesse de communication entre véhicules est plus rapide que prévu. Les temps de transmission entre véhicules et entre véhicules et RSU sont inférieures à 20 ms. La portée des transmissions est de l'ordre de 500 mètres maximum, ce qui peut poser un problème de compatibilité avec certaines applications.

### **Pour le TCC**

Pour le TCC qui se trouvait à Bordeaux, à la fin de la session de validation, on pouvait recevoir tous les messages Datex II reçus via le RSU et concernant tous les cas d'usages testés à Orbassano près de Turin. Malheureusement, toutes les fonctionnalités du TCC n'ont pu être testées car la validation finale a eu lieu à Orbassano et non à Bordeaux, site qui avait été préalablement sélectionné. En particulier, l'interaction de certains équipements du TCC de Bordeaux (capteurs vidéo) avec les composants COVEL n'a pu être testée.

### **Pour les cas d'usage**

Tous les cas d'usage ont été reconnus par le système COVEL. Globalement, le temps entre le début d'un événement et son affichage effectif dans un véhicule est de moins de 2 secondes.

## **IV. Exemple d'utilisation de systèmes coopératifs V2X dans la gestion de la sécurité des passages à niveau : le cas du projet PANsafer**

### ***IV.1 Introduction et contexte du travail***

Cette recherche est menée dans le cadre du projet ANR-VTT PANsafer : Vers un passage à niveau plus sûr [19].

Un passage à niveau (PN) est un croisement à niveau d'une ligne ferroviaire avec une voie routière ou piétonnière. Selon les Etats, différentes catégories de PN existent. En France, le Réseau Ferré National (RFN) exploite actuellement 18507 passages à niveau. Des systèmes de transport urbains, par exemple de type tram-trains, aptes à circuler sur le RFN et en centre villes, pourraient rendre nécessaires la création de nouveaux passages à niveau afin de protéger certaines traversées de carrefour.

Ce croisement particulier entre ligne ferroviaire et voie routière ou piétonne possède un caractère potentiellement dangereux. Les PN constituent donc un thème d'étude et d'intérêt fort pour de nombreuses commissions de sécurité et équipes de recherche dans de nombreux Etats en Europe, et au-delà. La résorption totale des passages à niveau avec par exemple un passage en dénivelé éteindra ce thème d'études mais cet objectif

risque de n'être atteint qu'à long terme.

#### IV.1.1 Rappels

Rappelons pour la compréhension de ce rapport la typologie simplifiée d'équipement des passages à niveau utilisée :

- PN Privés : Passages à Niveau sur voirie à usage privatif, quels que soient leurs équipements.
- PN Piétons : Passages à Niveau réservés aux usagers piétons, généralement équipés d'un portillon à fermeture gravitaire. La traversée est réalisée sous l'entière responsabilité de l'usager piéton et la priorité absolue est donnée aux circulations ferroviaires.
- PN XSA : Passage à Niveau à Croix de Saint André, avec ou sans STOP. La traversée est réalisée sous l'entière responsabilité de l'usager de la route et la priorité absolue est donnée aux circulations ferroviaires.
- PN SAL 0 : Passages à Niveau à Signalisation Automatique Lumineuse sans barrière. Le clignotement du feu rouge R24 commande aux usagers de la route l'arrêt absolu.
- PN SAL 2 : Passages à Niveau à Signalisation Automatique Lumineuse avec deux demi-barrières d'entrée, une par sens de circulation, avec ou sans îlots séparateurs de sens. Le clignotement du feu rouge R24 commande aux usagers de la route l'arrêt absolu.
- PN SAL 4 : Passages à Niveau à Signalisation Automatique Lumineuse avec deux demi-barrières d'entrée et deux demi-barrières de sortie. Le clignotement du feu rouge R24 commande aux usagers de la route l'arrêt absolu.
- PN Gardés : Passages à Niveau gardés par les opérateurs ferroviaires.

En France, le 26 juin 2008, Monsieur Bussereau remettait au Premier Ministre un rapport intitulé « Pour une politique de traitement de la sécurité des passages à niveau ». Ce rapport propose des recommandations pour un programme d'actions constitué de vingt mesures regroupées en quatre thèmes :

- **Informé et responsabiliser le conducteur ;**
- Mobiliser les gestionnaires de voirie sur la sécurité de leur infrastructure ;
- Poursuivre et accélérer un programme systématique de traitement des PN ;
- Confirmer la proscription absolue de tout nouveau PN sur des lignes de voyageurs.

Ce rapport et le communiqué de presse associé sont accessibles au lien suivant :

[http://www2.securiteroutiere.gouv.fr/data/revue/revue157/onenparle/securiser-les-passages-a-niveau.htm#\\_article=3388](http://www2.securiteroutiere.gouv.fr/data/revue/revue157/onenparle/securiser-les-passages-a-niveau.htm#_article=3388)

Pour cette analyse, les partenaires du projet PANsafer sont partis de ce rapport et se sont concentrés sur les mesures du premier thème : « informer et responsabiliser le conducteur ». Des mesures liées à l'application du contrôle sanction automatisé sont préconisées dans le rapport « Bussereau » :

la mesure 6 propose ainsi de :

« implanter dès la rentrée 2008 et, à titre expérimental, deux nouveaux radars « franchissement de PN » de contrôle sanction automatisé ».

Outre les mesures visant à « responsabiliser le conducteur », un intérêt particulier est porté au sous-thème « informer le conducteur » grâce aux deux autres points d'entrée du rapport « Bussereau » ci-dessous :

Le rapport précise page 6 que « La situation la plus courante des accidents est celle où l'utilisateur de la route prend conscience de l'existence du PN « actif » (barrières fermées, passage d'un train) trop tard, au vu de sa vitesse soit parce que celle-ci est excessive, soit parce qu'il n'a pas vu ou compris la signalisation en place, y compris parce qu'habitué des lieux il est surpris par une circulation ferroviaire inhabituelle. »

La mesure 2 préconise de :

« Mieux informer les usagers de la route, en mentionnant les PN dans les GPS des véhicules. »

Il s'agit ici d'indiquer par leurs longitude et latitude la présence des PN dans la base de données des systèmes de navigation routière afin qu'ils apparaissent sur la cartographie restituée à l'utilisateur.

## IV.1.2 Conclusions préliminaires

### ***Volet routier***

Il est déduit de ces deux extraits du rapport « Bussereau » les éléments de réflexion suivants : un dispositif d'information aux usagers des PN répétant et **précisant l'état du passage à niveau, de façon dynamique**, non plus uniquement à l'infrastructure, mais également à bord des véhicules constituerait un élément complémentaire allant dans le sens d'une sécurité renforcée d'utilisation des PN et, rechercher une **coopération des terminaux de navigation routière** afin de restituer cette information aux usagers permettrait de poursuivre dans le sens des mesures du plan Bussereau en mettant cette fois à disposition des usagers non plus une information passive, répétitive mais une information dynamique, représentative de l'environnement temps réel du passage à niveau.

Cette information de perception de l'environnement PN acquise localement serait donc retransmise pour traitement vers les terminaux de navigation routière disposant par ailleurs de la base de données de localisation des PN.

Le point de départ sont les spécifications à haut niveau pour décrire une solution technologique permettant d'apporter aux usagers de la route une information dynamique d'alerte d'urgence, visuelle et/ou sonore d'état du PN restituée directement par le terminal de navigation routière. La restitution par le terminal de navigation routière permet également de **n'informer que les seuls usagers à l'approche du PN** considéré et effectivement sur le point de l'emprunter.

Conformément à l'analyse décrite dans le rapport de Monsieur Bussereau, ce dispositif technique contribuerait de ce fait activement à alerter « l'utilisateur de la route lorsqu'il prend conscience de l'existence du PN « actif » (barrières fermées, passage d'un train) trop tard ».

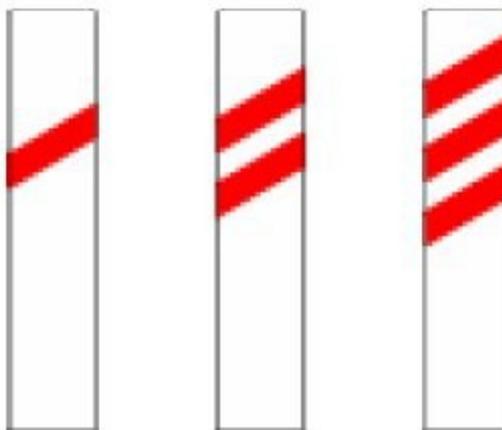
### ***Volet ferroviaire***

Si en France, lors des franchissements de PN, la priorité absolue est donnée aux trains, la

situation n'est pas nécessairement identique dans d'autres Etats. Les travaux de l'action concertée du sixième PCRD SELCAT (Safer European Level Crossing Appraisal and Technology) ont montré que différentes approches existaient. Il peut donc également paraître intéressant de fournir l'information de perception élaborée au PN, à bord des trains à l'approche du PN. Un terminal présentant des fonctionnalités proches d'un terminal de navigation routière pourrait également apporter les fonctionnalités requises.

## **IV.2 Etat de la situation technique**

La signalisation routière des PN en vigueur (convention de Vienne – 8 novembre 1968) comporte une signalisation latérale en bord de chaussée informant l'utilisateur de la route. Différente selon la catégorie de PN, elle est souvent constituée d'un panneau associé à un signal rouge lumineux (R24) doublé d'un signal sonore, actifs à l'approche des trains. Différents types de panneaux existent selon la catégorie du PN. Ces panneaux sont situés au droit des PN. Une information amont purement passive est également fournie grâce à l'emploi de balises J10 de signalisation installées à 50 m, 100 m et 150 m maximum en amont, avant le PN. La figure 14 présente ces balises J10 disposant de une à trois bandes, selon la position amont considérée.



*Figure 14 : Balise J10 de signalisation de PN en amont*

Certains passages à niveau expérimentaux peu visibles disposent également d'un panneau à message variable disposé en amont afin d'effectuer une information complémentaire aux usagers de la route, depuis la route. Porter l'information à bord des véhicules au-delà de cette distance maximale de balise J10 la plus éloignée du PN peut paraître utile, en respectant toutefois cet ordre de grandeur. Une portée de l'ordre de quelques centaines de mètres, en amont du PN, est donc recherchée.

### **IV. 2.1 Terminaux de navigation routière**

Les systèmes de navigation installés en première monte sur les automobiles ou les équipements nomades de navigation sont maintenant très répandus. Ils fonctionnent à l'aide d'une cartographie embarquée précise et de données de localisation reçues par satellites.

De base, ces dispositifs calculent un itinéraire à partir de la position courante connue et de la destination entrée par l'utilisateur. Grâce à une cartographie précise embarquée, les terminaux guident ensuite pas à pas l'utilisateur le long de l'itinéraire choisi à l'aide de localisations successives de l'utilisateur. Afin de fournir un niveau de service élevé, le terminal de navigation routière fait également usage de techniques élaborées de filtrage et

de map-matching.

De plus en plus, ces systèmes peuvent également recevoir des informations dynamiques de trafic : états ou évènements de la circulation en provenance d'un serveur de données distant. A l'aide des informations routières dynamiques reçues, le terminal de navigation devient en mesure de calculer des itinéraires optimisés, prenant en compte efficacement les conditions effectives de trafic qu'il reçoit régulièrement tout le long du trajet.

Deux canaux de diffusion radio de ces données trafic sont actuellement utilisés afin de porter ces informations jusqu'aux systèmes de navigation embarqués. L'un utilise un canal de données de radiotéléphonie mobile non connecté de type GPRS, il est actuellement disponible dans quatorze pays ; l'autre utilise une transmission de données par un canal RDS-TMC (Radio Data System - Traffic Message Channel). RDS-TMC résulte d'une volonté de la Commission Européenne de créer un système d'information routière embarquée paneuropéen ; il est opérationnel dans dix huit pays depuis plusieurs années.

#### IV. 2.2 Analyse préliminaire du mode de communication

Afin d'effectuer une analyse préliminaire du procédé de communication adéquat pour cette application, un diagramme établi par le consortium de recherche européen Car2Car a été repris. Il est reproduit en figure 15.

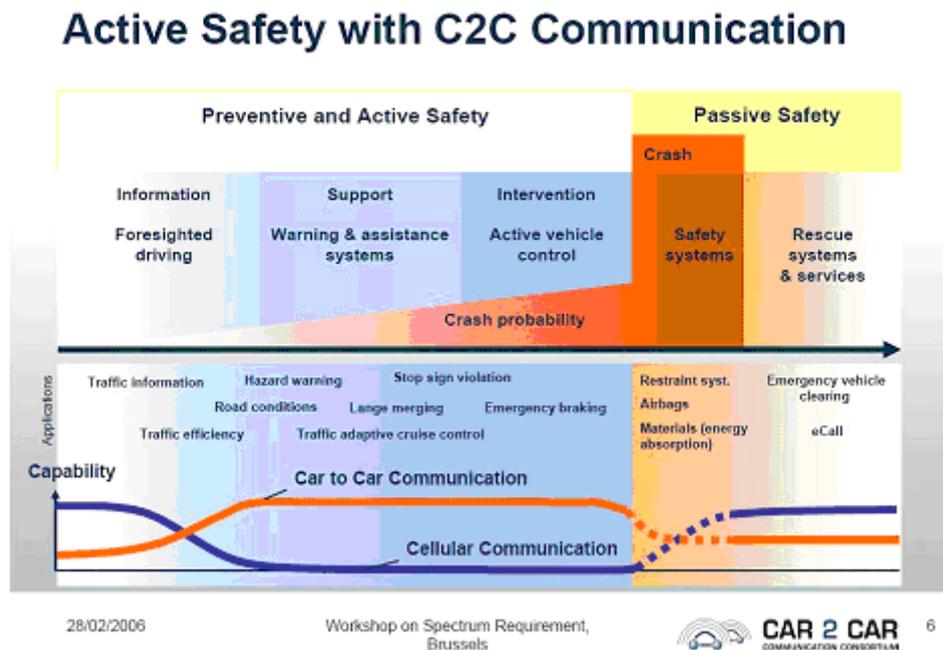


Figure 15: Efficacité de techniques de communication avec et sans relais à l'infrastructure

Si l'on suit l'abscisse représentant l'échelle des temps, deux phases sur cette figure se distinguent : une phase avant l'accident et une phase après l'accident (crash).

A la lecture de cette figure, on obtient en particulier qu'une communication qui transite par un relais à l'infrastructure, par exemple par radiotéléphone cellulaire, s'avère efficace afin d'informer l'utilisateur très en amont de « l'accident ». Son efficacité décroît cependant avec l'imminence de l'accident, disons pour préciser dans la ou les quelques minutes qui

précèdent l'accident.

Une communication directe entre véhicules ou encore entre infrastructure et véhicules, sans relais à l'infrastructure apparaît par contre beaucoup plus efficace afin de délivrer aux usagers une information d'alerte d'urgence telle que par exemple celle que nous souhaitons transmettre depuis les PN dont l'état a été perçu comme critique.

D'un point de vue technique, cette distinction est très fortement liée au temps de traitement/latence de la communication dans les réseaux qui dégrade la capacité de l'alerte d'urgence à être transmise rapidement. Rappelons ici qu'en France, un cycle de passage à niveau se décompose en trois étapes :

1. A la vitesse conventionnelle employée sur la ligne ferroviaire concernée, un dispositif appelé « pédale » détecte le passage du train environ 25 secondes avant le passage de celui-ci. La signalisation sonore et le feu rouge au niveau du PN entrent en action lors de l'activation de la pédale.
2. Après huit secondes, les barrières commencent à se baisser. Cette opération dure approximativement huit secondes.
3. Barrière complètement baissée et après un nouvel intervalle de temps de huit secondes, le train, s'il circule à vitesse nominale, traverse le PN. Certains PN reçoivent également l'information de vitesse du train. Les informations train annoncé, début de baisse des barrières, barrière baissée, temps à l'arrivée du train... sont disponibles. Elles constituent les données d'état du PN mentionnées. L'équipement exploite ces données d'état et génère un message d'état du PN à diffuser aux usagers de la route.

Un faible temps de latence de la communication entre le moment où un système de perception de l'environnement l'a généré et le moment où cette information est restituée s'avère donc nécessaire. Ce temps de latence doit être mis au regard de la durée de ce cycle PN et nous pouvons vraisemblablement d'ores et déjà le majorer à une seconde, voire moins si techniquement possible.

Dans le scénario d'alerte des usagers à l'approche des PN, est privilégié un dispositif de communication directe depuis le PN jusqu'aux usagers, d'une portée de quelques centaines de mètres côté usagers de la route, plus côté trains, sans relais à l'infrastructure ou présentant un temps de latence meilleur que la seconde.

La figure 16 illustre le principe de la communication, dans ce cas entre véhicules. Une portée utile de communication de l'ordre de quelques centaines de mètres s'avère nécessaire.

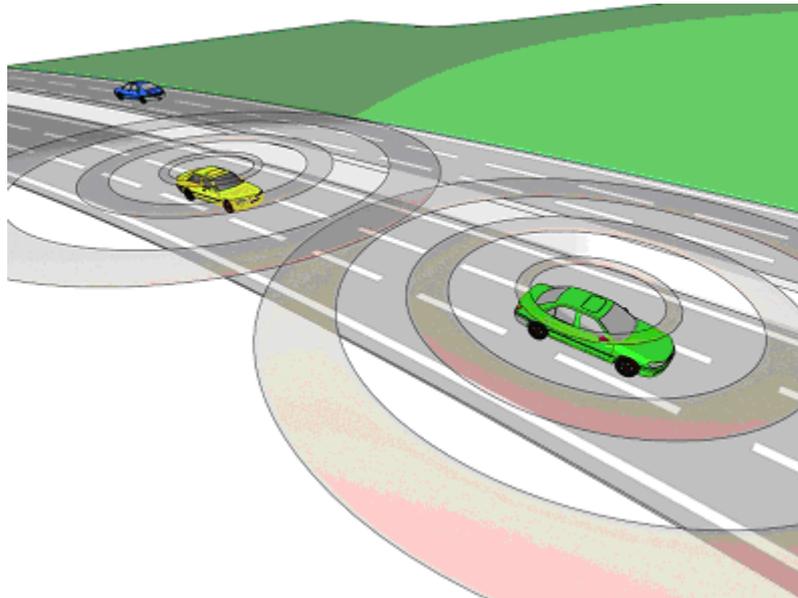


Figure 16 : Illustration d'un scénario de communication véhicules-véhicules

#### IV.2.3 Description de l'approche technique

La figure 17 présente une vue générale combinée des techniques avancées jusqu'à présent. Elles sont regroupées en trois points :

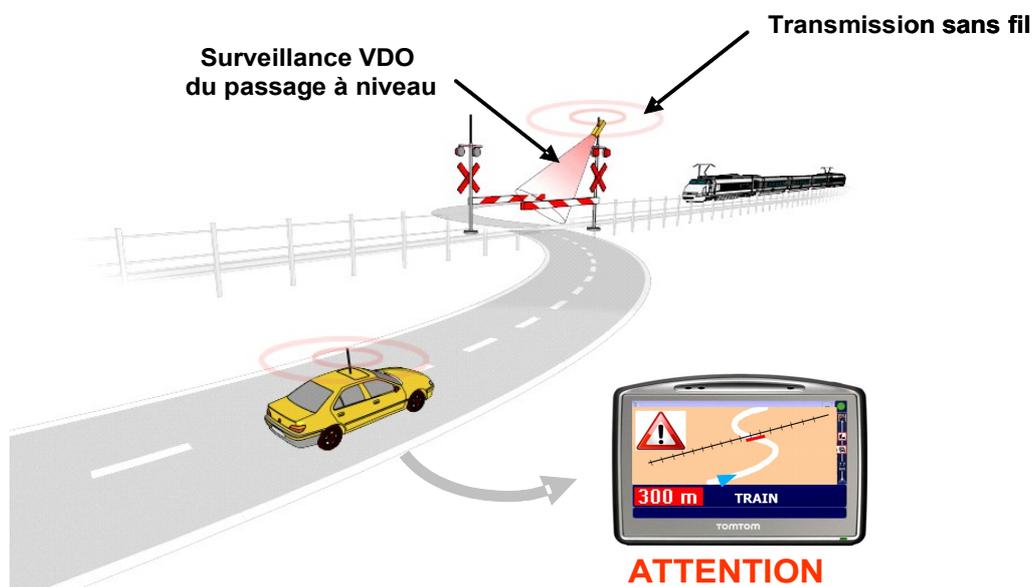


Figure 17 : Présentation générale du système d'information usager à l'approche des passages à niveau

- Un équipement de perception de l'environnement et de communication spécifique est installé au voisinage immédiat du PN ;
- Le système de communication porte l'information d'état dynamique du passage à niveau jusqu'aux terminaux de navigation routière ;
- une restitution dynamique de l'état du PN, dans la langue de l'utilisateur, est opérée par le terminal de navigation routière ;

- Alternativement ou conjointement, l'information d'état dynamique du PN peut également être exploitée à bord des trains en approche du PN.

A partir de l'observation de la zone à sécuriser, de l'état du PN et de la détection d'une situation potentiellement dangereuse, l'alerte est envoyée aux acteurs du passage à niveau : les usagers de la route en approche du passage à niveau, le PCC et le train qui est éventuellement en approche. Cette alerte est transmise par voie radio et restituée par un terminal. La compréhension du message d'alerte doit être immédiate et sans ambiguïté.

Cette communication entre le PN et les usagers (routiers et ferroviaire) doit répondre à plusieurs critères essentiels :

- L'établissement de la communication doit être le plus rapide possible (temps de latence minimum).
- La portée doit être au moins de 300 m.
- La communication doit perdurer avec des véhicules pouvant aller jusqu'à 160 km/h.

Les différents moyens de communications actuels permettant de restituer ces informations ont été analysés. Il s'avère que le meilleur moyen de communication est la technique radio «WAVE » (pour Wireless Access for Vehicular Environment), dont la norme a été adoptée en Europe en plusieurs étapes] :

- La bande des 5,9 GHz (5855 MHz à 5925 MHz) est allouée par la CEPT/ECC.
- La Commission Européenne adopte les applications relatives à la sécurité dans les Systèmes de Transports Intelligents (ITS) (2008/671/EC).
- L'ETSI standardise le protocole de communication (EN 302 571) dans la lignée des protocoles de type Wi-Fi et l'appelle IEEE 802.11p.
- L'ARCEP transpose en droit français la directive 2008/671/CE en 2010, sans nécessité d'autorisation individuelle pour l'utilisation.

Comme dit dans la première partie de ce rapport, cette norme définit les systèmes de coopération/communication entre véhicules (V2V) et entre véhicules et l'environnement (V2I), dans le but d'améliorer la sécurité des usagers routiers. Elle répond aux critères cités plus haut.

L'utilisation du WAVE (802.11p) autour du PN s'avère donc bien adaptée.

### ***IV.3 Scénarii de démonstration sur site***

#### **IV.3.1 Scénarii**

Un certain nombre de scénarii prédéfinis et correspondant à des situations réelles pouvant survenir sur des passages à niveau a été imaginé et tourné en situation réelle sur un passage à niveau dédié aux expérimentations. Ce sont les suivants.

#### ***Scénario 1 : Stationnarité anormale de véhicules sur PN***

##### **Scénario 1 - Etape 1 :**

Ce scénario est illustré figure 18. Un véhicule est stationné sur le platelage, le PN est libre, sans train annoncé. L'immobilisation du véhicule sur le platelage dure plus de 7 secondes, ce qui correspond à une durée standard de traversée de PN par un véhicule motorisé. Le

système de perception de l'environnement PN détecte cette stationnarité anormale. Le système de communication diffuse l'information de type « Attention véhicule bloqué sur PN devant vous, ne vous engagez pas sur le PN » vers les véhicules à l'approche.

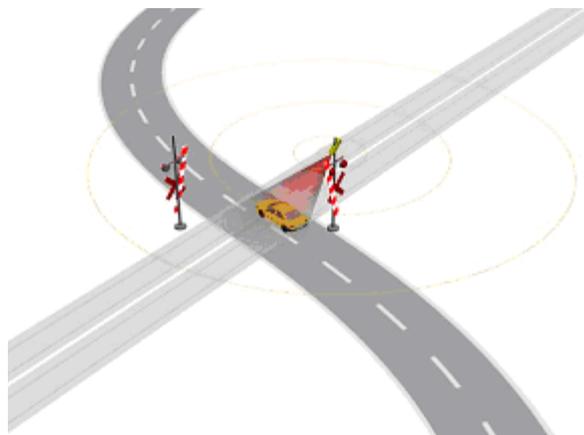


Figure 18 : Stationnarité anormale sur platelage, PN libre.

### **Scénario 1 - Etape 2 :**

Un véhicule est immobilisé sur le platelage, un train est à l'approche, les barrières se ferment. Le système de perception de l'environnement PN détecte cette stationnarité anormale ainsi que la fermeture des barrières. Le système de communication diffuse l'information de type « Arrêt immédiat obligatoire accident » vers les véhicules à l'approche. Ce scénario est illustré sur la figure 19 suivante.

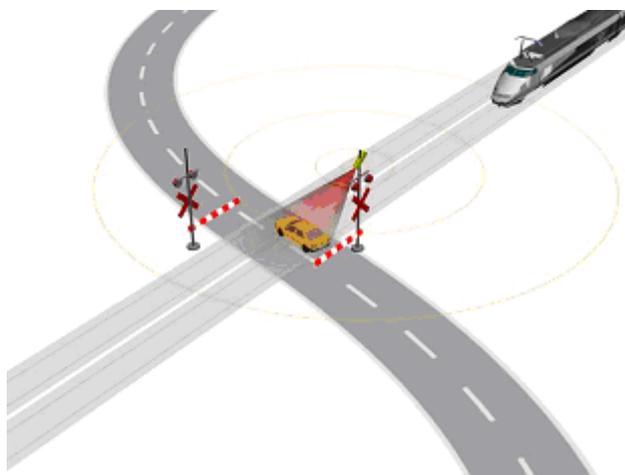


Figure 19 : Stationnarité anormale sur platelage, barrières baissées et approche train.

### **Scénario 2 : Remontée de file en aval**

#### **Scénario 2 - Etape 1 :**

Ce scénario est illustré figure 20. Un incident de circulation survient en aval du PN. Des véhicules continuent de progresser depuis le PN. Un bouchon se forme en aval et remonte la file vers le PN. Les véhicules qui continuent d'arriver engagent le PN et se trouvent immobilisés sur le platelage, sans possibilité de progresser. Le PN est toutefois libre, sans train annoncé. L'immobilisation du véhicule engagé sur le platelage dure plus de 7 secondes. Le système de perception de l'environnement PN détecte cette stationnarité anormale. Le système de communication diffuse l'information de type « Attention véhicule bloqué sur PN devant vous, ne vous engagez pas sur le PN » aux véhicules à l'approche,

en amont.

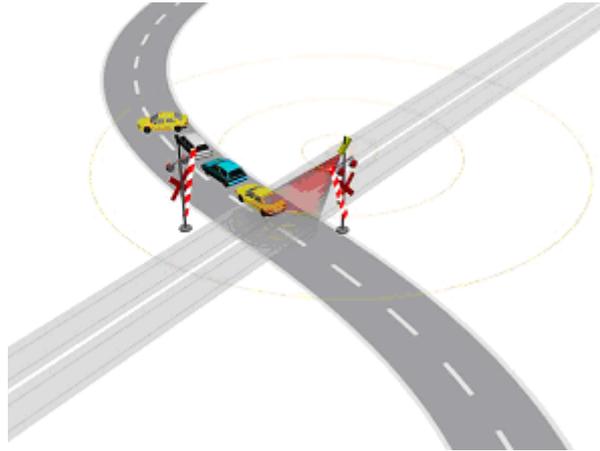


Figure 20 : Remontée de file aval et engagement PN.

### Scénario 2 - Etape 2 :

Au moins un véhicule s'est immobilisé, bloqué sur le platelage, dans les conditions de l'étape 1 précédente. Un train est à l'approche. Les barrières se ferment. Le système de perception de l'environnement PN détecte cette stationnarité anormale ainsi que la fermeture des barrières. Le système de communication diffuse l'information de type « Arrêt immédiat obligatoire accident » vers les véhicules à l'approche en amont du PN. Ce scénario est illustré figure 21.

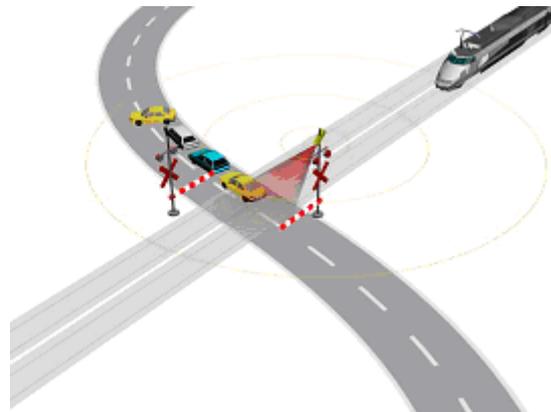


Figure 21 : Remontée de file aval, engagement PN et approche train

### Scénario 3 : Passage en chicane au PN

#### Scénario 3 - Etape 1 :

Ce scénario est illustré figure 22. Un véhicule tente de franchir un PN en cours de fermeture par une manoeuvre de passage en chicane. Le système de perception de l'environnement PN détecte cette progression sur la voie gauche de circulation. Afin d'éviter que d'autres véhicules ne suivent cet exemple délictueux, le système de communication diffuse l'information de type « Passage en chicane formellement interdit sur un PN ».

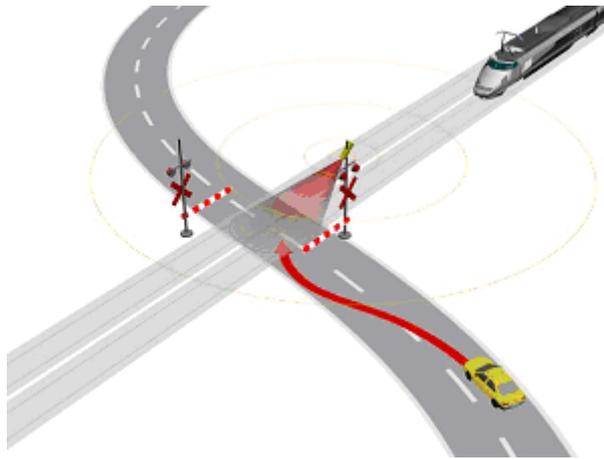


Figure 22 : Passage en chicane barrières en cours de fermeture ou baissées

### Scénario 3 - Etape 2 :

Un véhicule passe en chicane sur le PN. Sa manoeuvre n'a pu aboutir et il est immobilisé sur le platelage selon les conditions de l'étape 1 précédente. Un train est à l'approche. Le système de perception de l'environnement PN détecte cette stationnarité anormale ainsi que la fermeture des barrières. Le système de communication diffuse l'information de type « Arrêt immédiat obligatoire accident » vers les véhicules à l'approche en amont du PN. Ce scénario est illustré sur la figure 23.

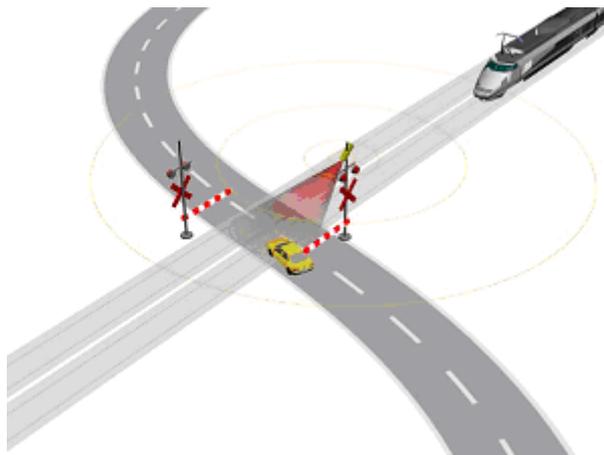


Figure 23 : Passage en chicane et immobilisation sur platelage

### Scénario 4 - étape unique :

Bien qu'il ne s'agisse pas à proprement parler d'un scénario accidentogène, ce scénario 4 est proposé, où un défaut de fonctionnement apparaît sur le PN. Le PN se met en état de sécurité, barrières baissées. Une trop longue durée de fermeture de barrières peut cependant induire des comportements dangereux tels que celui de passage en chicane décrit au scénario 3 précédent ou des demi-tours dans des conditions difficiles à proximité immédiate du PN. Le système de perception de l'environnement détecte une durée de fermeture des barrières anormalement longue et transmet une information aux véhicules à l'approche de type « Route bloquée en aval, changez d'itinéraire ». Ce scénario correspond à la figure 24 suivante.

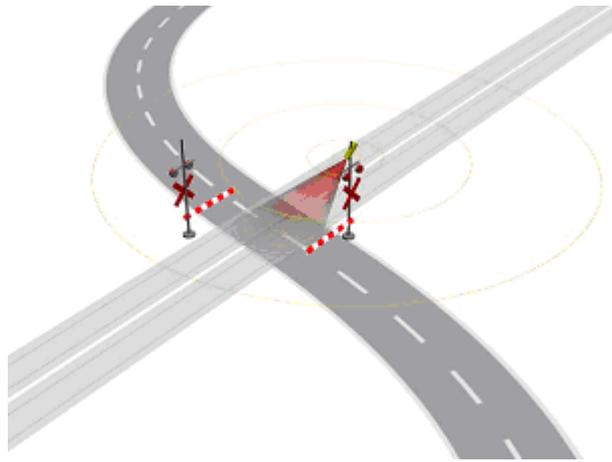


Figure 24 : Fermeture des barrières anormalement longue

Le système de communication est interfacé avec la centrale d'analyse vidéo qui réalise également l'acquisition du signal R24 de fermeture du passage à niveau. Lorsqu'un usager de la route approche du passage à niveau, le système de communication (RSU ou Unité bord de voie) l'informe de l'état du PN afin d'accroître son attention, y compris si le PN est ouvert, qu'il n'y a pas de train en approche et qu'il n'y a pas de présence d'obstacle. L'information reçue par l'utilisateur de la route est alors présentée sur un terminal nomade à bord du véhicule. Le RSU diffuse les informations du PN en « broadcast », la portée étant limitée (1000 m en conditions optimales, 300 m à 500 m en conditions réelles), seuls les véhicules approchant du PN dans ce rayon de couverture capteront ces informations. Ces éléments sont synthétisés figure 25.

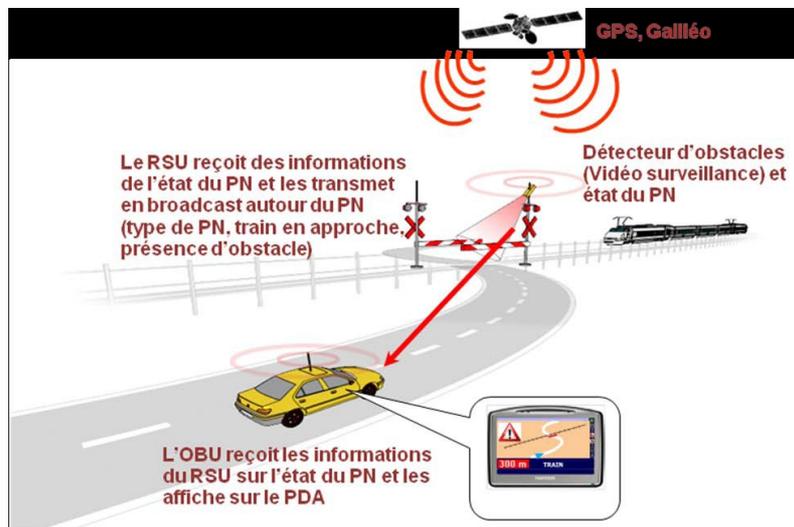


Figure 25 : Scénario global de démonstration PANsafer

#### IV.3.2 Résultats obtenus sur site sur le passage à niveau de Mouzon (Ardennes)

Une campagne d'essai finale sur un passage à niveau réel en cours d'exploitation a été effectuée dans le but d'évaluer les solutions PANSAFER sur un site pertinent et crédible.

Les analyses d'accidentologie effectuées dans un groupe de travail du projet ont permis d'identifier des scénarii critiques et des typologies de passages à niveau à étudier.

#### **IV.3.2.1 Le site d'essai**

Le passage à niveau d'essais est un SAL2 classique : « Signalisation automatique avec un feu rouge clignotant et munie de demi-barrières à fonctionnement automatique interceptant la partie droite de la chaussée » qui a été sélectionné sur proposition de RFF (figure 26).



*Figure 26 : Le PN 171 de Mouzon dans les Ardennes*

Ce PN est situé sur la RD 19e, commune de Mouzon, en direction du hameau de Villemontry. Le PN est en agglomération, donc sous pouvoir de police du maire de Mouzon, interlocuteur pour tous arrêtés de circulation. Le trafic sur la route départementale, TMJA (trafic moyen journalier annuel) est de 250 véhicules routiers. Il faut remarquer que le PN se situe sur le côté droit de l'entrée de la zone industrielle de Mouzon. D'un point de vue ferroviaire, le trafic moyen est d'un train par jour. Le site de Mouzon retenu pour la phase d'expérimentation comporte de nombreuses caractéristiques intéressantes :

1. Il est équipé d'un automatisme actionnable par télécommande qui permet de simuler des passages de train, baissés de barrières, tout en préservant la sécurité des personnels présents sur le site.
2. Il comporte une arrivée par une route de campagne et une arrivée en provenance d'une agglomération (comportant en plus la sortie d'un site industriel). Rappelons que ces singularités ont une influence sur la vision (donc sur le système de perception) ainsi que sur les conditions de propagation des ondes radio (donc sur le système de transmission) et sur la nature du trafic (donc sur la possibilité d'occurrence des scénarii critiques identifiée par PANSAFER). La diversité des configurations s'avère donc favorable à une vérification crédible des solutions PANSAFER.

3. Enfin, il s'agit d'un passage à niveau SAL2 qui ne comporte pas de singularités notables pouvant être considérées comme des biais expérimentaux.

#### **IV.3.2.2 Reconnaissance par système de perception**

Le système de perception est capable d'évaluer le danger lié aux usagers qui s'approchent et traversent un PN, tout en détectant les situations potentiellement dangereuses. Les résultats obtenus sont très satisfaisants, dans des conditions de prise de vues très variées (temps ensoleillé, temps nuageux, présence de coups de vent). En effet, sur les séquences traitées, les situations mises en jeu dans les différents scénarios (avec barrières ouvertes ou fermées) ont été toutes détectées avec succès. Aujourd'hui, on ne peut pas effectuer une étude statistique sur le système de perception de part le faible nombre de séquences d'images acquises en conditions réelles d'utilisation. Ceci est dû aux difficultés liées à la mise en place de campagnes d'acquisition sur les PN [20] [21] [22].

#### **IV.3.2.3 Communication aux véhicules**

Ces différents essais de communications autour du PN en grandeur réelle ont montré plusieurs éléments :

- L'importance de la qualité des antennes du système infrastructure – véhicule. Les essais ont montré que, côté véhicule, l'antenne imprimée 4 patchs présente les meilleures caractéristiques. Ceci est d'autant plus intéressant que le coût de production en série d'une telle antenne est relativement réduit (circuit imprimé). De par sa forme, on peut imaginer l'inclure derrière le pare-brise du véhicule. Côté infrastructure – PN, l'utilisation d'antennes directives est préférable afin, d'une part de concentrer l'émission radio vers la structure routière et d'autre part, d'augmenter la portée par l'augmentation du gain de l'antenne.

- La faible quantité de données à transmettre ne nécessite pas un débit de données important. En effet, il a été montré que plus le débit de données augmente, moins bonne est la portée et le taux de réussite (nombre de paquets reçus / nombre de paquets émis). Il semble que le débit de 6 Mbps soit le débit « standard » en cours d'adoption en Europe pour ce type de communication V2X.

- Une zone de couverture en terrain « dégagé » de l'ordre de 800 m a été obtenue. En zone urbaine, la portée est réduite et dépend fortement de la configuration des bâtiments. Dès que la « vue » est directe, grâce à un espace libre entre deux bâtiments par exemple, la communication est établie. L'apport des réflexions multiples sur les façades des bâtiments n'a pas été évalué, la configuration de la zone périurbaine de Mouzon ne s'y prêtant pas.

L'influence de la présence d'arbres interrompt sporadiquement la communication.

- Deux vitesses du véhicule ont essentiellement été utilisées durant les essais, une vitesse « lente », 20 km/h et une vitesse « rapide », 50 km/h. A la vitesse « rapide », il y a comme un effet de « lissage » des paquets reçus par rapport aux absences de communications observés à vitesse lente. Des vitesses supérieures à 50 km/h n'ont pas pu être pratiquées, étant donnée la configuration du site d'essai.

- La validité du concept de transmission à l'intérieur du véhicule en approche de l'information de l'état ou d'un incident au Passage à Niveau, au-delà de la visibilité optique, a été montrée.

### **IV.3.3 Perspectives et déploiement des solutions PANsafer**

La France compte environ 15 000 passages à niveau (300 "préoccupants") dont plus de 1 000 en Région Nord Pas de Calais. La situation est similaire dans tous les pays et les solutions que nous avons retenues y sont applicables. Le parc des véhicules de transport collectif et routier qui pourrait être équipé rapidement, dans des zones potentiellement critiques est également très important en Europe.

A moyen terme (< 10 ans) une partie du parc automobile devrait être équipée d'un module de communication inter véhicules et véhicule infrastructure porteur de nombreuses applications. La norme internationale WAVE pourrait ainsi s'imposer pour ce type de communication.

Les travaux menés dans PANsafer permettent de définir quelques perspectives en termes de déploiement progressif de ces systèmes. Ils constituent trois catégories :

- *Première catégorie : flottes de véhicules routiers critiques :*

Si l'on se réfère à l'accident d'Allinges, équiper certains PN critiques d'un dispositif de détection/transmission de situations anormales et, doter certaines flottes de véhicules routiers d'équipements de restitution de ces informations considérés particulièrement critiques aux conducteurs peut constituer un point d'entrée jugé pertinent. Avec cet exemple d'Allinges, il s'agit notamment des flottes d'autocars scolaires. Ces équipements pourront être mis en place dans le cadre de la rénovation des véhicules de transport collectif (Bus, Cars, Transports d'enfants...) ainsi que des véhicules de transport de marchandises qui empruntent régulièrement des trajets équipés de passages à niveaux.

A terme, la généralisation de l'utilisation des terminaux WAVE à bord des véhicules routiers permettra une exploitation de plus en plus large de ces informations PN transmise par voie radio.

- *Seconde catégorie : tram-trains :*

Le tram-train désigne un système de transport public guidé interconnectant réseaux de tramway et ferroviaire. Les projets de tram-train obligent de façon générale des aménagements de sécurisation des passages à niveau de la ligne ferroviaire. Circulant également en zones urbaines denses, la cohabitation tram-train - véhicules routiers s'avère ainsi étroite et fréquente. Dans certains cas, les passages à niveau sont transformés en carrefours à feux sans barrière, d'autres font l'objet d'une recherche de suppression en concertation avec les acteurs locaux. Les passages à niveau qui ne sont pas supprimés restent en général équipés de signalisation automatique lumineuse à deux demi barrières. Un système d'alerte et de prévisualisation de l'état anormal du PN pourrait renforcer la sécurité de la cohabitation tram-train véhicules routiers.

- *Troisième catégorie : ERTMS (European Rail Traffic Management System)*

Le rapport de Monsieur Bussereau intitulé « Pour une politique de traitement de la sécurité des passages à niveau » propose des recommandations pour un programme d'actions constitué de vingt mesures regroupées en quatre thèmes.

Aucune mesure ne s'adresse cependant spécifiquement aux trains possédant, dans certains Etats, dont la France, une priorité absolue. Sans revenir sur le caractère absolu de cette priorité, une information des conducteurs de trains ainsi que du sol, en cas notamment de stationnarité anormale (poids lourds, autocars bloqués sur le platelage...) sur le passage à niveau à l'approche paraît intéressante à mettre en œuvre et à introduire/interfacier dans ERTMS. L'ERTMS (European Rail Traffic Management System) est destiné à remplacer les 27 systèmes de signalisation ferroviaire en service en Europe. Une information transmise depuis les PN, en direction des trains pourrait être restituée en cabine de conduite via l'interface homme machine ERTMS et constituerait une voie de travail intéressante à explorer.

Ces dispositifs seront conformes à une utilisation en milieu ferroviaire au sol et en embarqué. Dans tous les cas, l'information pourra également être renvoyée vers les gestionnaires de l'infrastructure (RFF, SNCF,...) qui pourront redistribuer cette information.

## V. Conclusion générale

Les récents efforts consentis en termes d'expérimentations sur le terrain de systèmes de communication V2X ont conduit à des résultats significatifs dans le domaine. Dans cet état de l'art, une courte étude a été menée sur les systèmes existants en termes quantitatifs et qualitatifs.

Néanmoins, plusieurs challenges restent à relever avant que les systèmes V2X ne soient déployés. La continuité des essais sur site menée au travers des projets comme , COVEL, PANsafer, SAFESPOT et VSC-A, est primordiale.

Mettre en place par la suite des déploiements plus larges de ces systèmes pour des évaluations approfondies à grande échelle est aussi nécessaire pour tester la fiabilité. Cela n'implique pas que les liaisons sans fil et les technologies réseau mais aussi les applications elles-mêmes, en particulier celles présentent les exigences les plus strictes. Permettre une gestion de la route et ferroviaire efficace même dans des situations de sécurité impérieuses est nécessaire.

D'autres aspects importants à prendre en compte sont le coût, les aspects légaux et organisationnels. Par exemple quel sera le coût d'un déploiement d'un système V2X et comment sera-t-il financé ? Se basera-t-il sur des systèmes déjà existants, comme les smartphones des usagers ? Quelles seront les premières applications qui seront déployées ?

Sans un taux de pénétration très important de ces systèmes (à bord des véhicules et dans l'enceinte des infrastructures), les bénéfices pour l'utilisateur final (le conducteur) seront très limités. Personne ne sera prêt à payer pour un service qui ne fonctionnera que de temps en temps.

## VI. Bibliographie

- [1] P. Papadimitratos, A. De la Fortelle, K. Evensen, R. Brignolo, S. Cosenza, "Vehicular Communications Systems Enabling Technologies, Applications, and Future Outlook on Intelligent Transportation", IEEE Communications magazine, novembre 2009.

- [2] R. Bossom et al., "European ITS Communication Architecture: Overall Framework, Proof of Concept, Implementation,v.2.0," Information Society Technologies, Specific Support Action, COMeSafety, Mar. 2009.
- [3] T. Kosh et al., "Communication Architecture for Cooperative Systems in Europe" IEEE Communication Magazine, May 2009.
- [4] D. Paret and R. Riesco, "Multiplexed Networks for Embedded Systems: CAN, LIN, FlexRay, Safe-by-Wire" SAE Int'l., 2007.
- [5] IEEE P802.11p/D3.0, "Draft Amendment to Standard for Information Technology-Telecommunications and Information Exchange Between Systems-Local and Metropolitan Area Networks Specific Requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – Amendment 7: Wireless Access in Vehicular Environments" 2007.
- [6] R. A. Uzcátegui and G. Acosta-Marum, "WAVE: A Tutorial," IEEE Communication Magazine, May 2009.
- [7] A. de La Fortelle, P. Muhletaler, and A. Laouiti, "GeoNet : Geo-Networking for ITS Applications," 15<sup>th</sup> ITS World Congress, 2008
- [8] Vehicle Safety Communications Applications (VSC-A) Project, "Final Annual Report," DOT HS 811 073, Jan. 2009
- [9] ETSI TR 102 638, "Intelligent Transport Systems (ITS), Vehicular Communications (VC), Basic Set of Applications, Definitions," v.1.1, June 2009
- [10] P. Papadimitratos et al., "Secure Vehicular Communications : Design and Architecture," IEEE Communication Magazine, vol. 46, no. 11, Nov. 2008.
- [11] CoVeL (2010). "Cooperative Vehicle Localization for Efficient Urban Mobility". Online: <http://www.covel-project.eu/>.
- [12] C. Liberto, R. Schubert, L. Lin, K. Wevers (2010). "Cooperative Vehicle Localization for Efficient Urban Mobility". In Proceedings *the World Congress on ITS*, Korea.
- [13] M. Obst, R. Schubert, R. Streiter (2011). "Benefit Analysis of EGNOS/EDAS for Road Transport Applications". In Proceedings *the European Congress on ITS*, Lyon.
- [14] M. Obst, R. Schubert, N. Mattern, C. Liberto (2011). "GNSS-Based Relative Localization for Urban Transport Applications within the CoVeL Project". In Proceedings *the World Congress on ITS*, Orlando, USA, 2011.
- [15] R. Schubert, N. Mattern, M. Obst, C. Liberto "Cooperative Localization and Map Matching for Urban Road Applications". In Proceedings *the World Congress on ITS*, Orlando, USA, 2011.
- [16] L. Khoudour, S. Romon, G. Duchamp, PY. Tanniou, E. Broquaire, G. Zennaro, C. Liberto, M. Obst, R. Schubert, N. Mattern "CoVeL: A Cooperative Road Solution Based on EGNOS to Improve Road Mobility " 19th ITS World Congress, Vienna, Austria, 2012
- [17] FESTA D6.4- Handbook

- [18] M. Bakry, L. Khoudour, S. Romon, G. Zennaro, Validation plan, projet Covel, Deliverable D6.2, octobre 2011.
- [19] <http://pansafer.inrets.fr/>
- [20] N. Fakhfakh, L. Khoudour, EM El-Koursi; JL. Bruyelle, A. Dufaux, J. Jacot "3D Objects Localization using Fuzzy Approach and Hierarchical Belief Propagation: Application at Level Crossings" EURASIP Journal on Image and Video Processing Special issue "Advanced Video-Based Surveillance", Hindawi, 2011, 13p
- [21] N. Fakhfakh, L. Khoudour, EM. El-Koursi, J. Jacot, A. Dufaux "A video-based object detection system for improving safety at level crossings" Open transportation journal, supplement on "safety at Level Crossings" DOI:hal-00542416/en
- [22] H. Salmane, Y. Ruichek, L. Khoudour, "Gaussian propagation model based dense optical flow for objects tracking" International Conference on Image Analysis and Recognition ICIAR 2012 June 25-27, 2012, Aveiro, Portugal

2 -

Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergie et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

---

**Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud-Ouest**

rue Pierre Ramond - BP 10  
33166 Saint-Médard-en-Jalles Cedex  
Tél : 05 56 70 66 33  
Fax : 05 56 70 67 33

Courriel : [cete-sud-ouest@developpement-durable.gouv.fr](mailto:cete-sud-ouest@developpement-durable.gouv.fr)

[www-developpement-durable.gouv.fr](http://www-developpement-durable.gouv.fr)