

Convention Fondation MAIF - ARMINES

« Le Cindynamètre »

Rapport Final

Rédacteur : Claude LAURGEAU

Juillet 2004



Le Centre de Robotique de l'Ecole des Mines de Paris avec le concours de la Fondation MAIF présente cinq systèmes innovants pour accroître la sécurité routière et fluidifier le trafic.

 <p>MAIF FONDATION La Fondation</p>	<p>La signalétique embarquée Le détecteur de piétons La boîte noire La bande de roulement virtuelle L'analyseur de trafic</p>	 <p>Agere ECOLE des MINES de PARIS Copitare CENTRE de ROBOTIQUE Per Ydère</p>
--	---	--

Nous les présentons de manière simple ci après. Ils sont tous associés à des démonstrations sous la forme de films vidéo qui permettent d'illustrer les concepts avancés. Il est toutefois recommandé de lire les textes avant de visualiser les vidéos.

La signalétique embarquée

La signalisation routière comprend la **signalisation horizontale** et la **signalisation verticale**. La signalisation horizontale correspond à l'ensemble des marquages au sol tels que les lignes continues ou discontinues, les passages piétonniers, les flèches de rabattement.. etc.

La signalisation verticale correspond à l'ensemble des panneaux de signalisation placés sur le côté de la route tels que les limitations de vitesse, les panneaux stop, les annonces de virages, de croisement...etc. Il en existe un très grand nombre.

Actuellement, c'est chaque conducteur qui perçoit visuellement la signalisation routière et l'utilise pour adapter sa conduite. De nombreux accidents sont liés au non-respect de la signalisation routière. Ils sont les résultats d'erreurs humaines (fatigue, inattention du conducteur, panneau masqué par la végétation ou la publicité, mauvaise interprétation)

Nous nous sommes posés la question suivante : La technique permet-elle aujourd'hui à un véhicule de lire directement la signalisation ? Si oui, nous proposons de nommer « Signalétique embarquée », le système qui permet de percevoir la signalisation routière et de la présenter visuellement sur le tableau de bord de la voiture.

Nous pouvons imaginer deux approches techniques pour résoudre le problème.

La première consiste à établir une communication de l'infrastructure vers le véhicule. Les panneaux de signalisation devenant des émetteurs actifs codés, informent le véhicule de leur présence. Cette solution est concevable techniquement mais peu réaliste du point de vue économique car elle suppose l'équipement de toute l'infrastructure routière soit plusieurs millions de panneaux sur le réseau français ainsi que l'équipement des véhicules.

La seconde solution consiste à exploiter les potentialités du système de localisation GPS ou bientôt Galileo et de la cartographie numérique (SIG pour Systèmes d'Informations Géographiques). Cette approche n'a pas été exploitée à ce jour et nous avons voulu l'explorer. Nous allons présenter successivement deux générations de signalétique embarquée de complexité croissante que nous appellerons respectivement, signalétique embarquée statique et signalétique embarquée dynamique ou contextuelle.

La signalétique embarquée statique

La France possède un réseau routier d'environ un million de kilomètres. Imaginons que tous les deux cents mètres, on mettra un point de marquage sur les routes avec pour attributs sa longitude, sa latitude et son altitude codées sur seize bits... Cela fait pour chaque point, six octets, donc trente octets par kilomètre soit un total de trente mega octets pour stocker toute la carte routière de France. Ceci est très peu puisqu'un CD ROM peut contenir aujourd'hui environ 640 Mo dans lequel il est possible d'ajouter de très nombreuses informations et en particulier toute la signalisation routière. De nombreux kilomètres peuvent être parcourus en rase campagne sans trouver de panneau de signalisation alors qu'en milieu urbain on peut en trouver plusieurs sur un kilomètre. On peut estimer sans trop de risques que le stockage sur un support CD ROM de toute la signalisation routière française ne prendra pas plus de trente autres Mo.

Naturellement, la production d'une telle base de données et son actualisation demande un travail considérable de collecte et de vérification des informations. Mais les données existent déjà au sein des services publics en charge de la gestion du réseau routier.

Au niveau d'une démonstration de faisabilité, nous avons choisi un circuit en environnement urbain que nous avons parcouru dans un premier temps en relevant les coordonnées des panneaux de signalisation. Ces coordonnées ont été mémorisées sur disque dur et lors des passages ultérieurs du véhicule dans un voisinage des points enregistrés, les icônes des panneaux correspondants étaient affichées sur le tableau de bord de la voiture.



Annnonce d'un passage piétonnier sur le tableau de bord numérique du véhicule LARA de l'Ecole des Mines de Paris lors de la première démonstration de signalétique embarquée.

La faisabilité de la signalétique embarquée statique est donc démontrée mais comment apprécier sa pertinence ? Observons tout d'abord que depuis nos premiers travaux de nombreux acteurs, constructeurs automobiles, éditeurs de systèmes d'informations géographiques, gestionnaires de routes... se sont intéressés à ce concept. Nous pensons qu'à la suite du déploiement rapide des systèmes de navigation dans les véhicules commercialisés aujourd'hui, la nouvelle génération de systèmes de navigation routière proposera la signalétique embarquée statique.

Le nouveau système d'assistance à la conduite présente à la fois des avantages et des inconvénients.

Parmi les principaux avantages, il y a la possibilité de passer d'une signalétique purement événementielle à une signalétique rémanente. Par exemple, le panneau qui indique l'entrée dans une agglomération et la limitation de vitesse à 50 kms/h n'est perçu qu'une seule fois alors que l'information qu'il délivre reste valable jusqu'à ce que l'on rencontre le panneau annonçant la sortie d'agglomération annulant par là même le premier. Avec la signalétique embarquée, ce n'est pas un événement que l'on signale mais l'existence d'un état ayant une certaine durée. Un autre atout considérable est la possibilité offerte par la technologie de se substituer partiellement ou totalement à un conducteur défaillant. Le système d'assistance active pourra par exemple freiner à l'approche d'un stop que le conducteur n'aurait pas respecté, ou limiter la vitesse du véhicule d'autorité dans une zone urbaine.

Deux objections au moins sont faites au système, la première concerne la mise à jour des bases de données. Il est clair que si la signalétique à bord se met en place comme nous le pensons, la double signalisation sur la route et à bord du véhicule coexistera pendant de nombreuses années. Les deux signalisations doivent donc être cohérentes. S'il est vrai que la signalétique électronique peut présenter des omissions, cela est aussi arrivé pour la signalétique physique. Le conducteur doit rester vigilant et responsable dans toutes les situations. Sur le long terme au contraire la flexibilité de la signalétique embarquée et son actualisation aisée deviendront un atout. Les bases de données seront modifiées et adaptées facilement par les autorités gestionnaires du réseau en fonction des travaux d'entretien, de la météo, d'événements fortuits (manifestation sportive, grève, etc..). L'utilisateur pourra télécharger les bases de données actualisées via la nouvelle génération de communication UMTS ou par communication sans fil avec l'infrastructure. On peut, en se projetant dans trente ou quarante ans, imaginer que la signalisation routière matérielle aura disparue et qu'une signalétique purement immatérielle aisément modifiable en fonction des lieux, des jours, des heures, de la météo sera déployée pour contribuer à une gestion plus intelligente et flexible des transports.

La seconde objection faite est la surcharge mentale du conducteur qu'implique la lecture de la signalétique à bord. Sous réserve d'études ergonomiques, la fusion de la signalétique embarquée sur l'écran du système de navigation ou mieux encore sur un écran tête haute devrait en rendre l'usage aisé.

La signalétique embarquée contextuelle ou dynamique

Pour expliquer cette nouvelle génération de signalétique à bord, nous allons établir une analogie avec les systèmes de navigation pour lesquels on peut aussi identifier deux niveaux : Le navigateur statique et le navigateur dynamique.

Comment fonctionne un navigateur statique ? Nous avons déjà expliqué succinctement comment était organisé un SIG (système d'informatique géographique) de type carte routière. La représentation du réseau routier est faite par un graphe et les deux points de départ et d'arrivée d'un trajet sont des nœuds du graphe. Tout parcours à planifier revient à effectuer un cheminement dans un graphe selon certains critères comme par exemple imposer des points de passage, maximiser la sécurité en utilisant les autoroutes ou encore minimiser la distance parcourue ou la durée du trajet. Les algorithmes qui trouvent les chemins sont appelés des routeurs. On peut en disposer pour planifier un voyage et ils délivrent une feuille de route avec calcul des temps de passage et des coûts. Pour obtenir un navigateur statique, il faut ajouter un système de localisation. Le seul disponible aujourd'hui est le GPS (Global Positioning System) qui délivre via une antenne et un bloc calculateur les coordonnées longitude, latitude et altitude du point où il se trouve sous réserve de recevoir au moins quatre

signaux en provenance de quatre des 24 satellites en orbite. Dès lors, une procédure de mise en correspondance de la position délivrée par le GPS avec la base de données cartographique (procédure appelée « map matching ») permet de localiser en temps réel le véhicule sur le réseau routier. Les positions successives du véhicule qui se déplace permettent de connaître le sens du déplacement sur la route et la vitesse qui est connue par ailleurs par le tachymètre traditionnel. Il est possible dès lors d'effectuer un guidage visuel ou sonore du véhicule sur la trajectoire pré calculée par le routeur. Cette technologie qui commence seulement à être commercialisée en France alors qu'elle est largement diffusée au Japon ou aux USA, correspond à ce que nous appelons un navigateur statique. Le qualificatif statique s'explique par le fait que le système ne prend en compte que la géométrie routière et les déplacements du véhicule sans tenir compte du trafic.

Il est donc concevable que l'algorithme de routage propose un trajet intéressant du point de vue géométrique parce qu'il est court alors qu'il s'agit d'une proposition très mauvaise car l'utilisateur va se trouver pendant un long moment dans un embouteillage. Dès lors nous appellerons navigateur dynamique ou contextuel un système qui prend en compte le trafic et en particulier les segments de routes congestionnés. La prise en compte du trafic consiste simplement au niveau du routeur à mettre une pénalité forte sur les segments de routes congestionnés, ce qui amène le logiciel à rechercher des itinéraires de contournement. La véritable difficulté est de détecter la congestion et de diffuser en temps réel l'information pour que les véhicules équipés puissent effectuer un re routage dynamique vers leurs destinations.

C'est donc en nous appuyant sur cette analogie que nous appelons signalétique embarquée dynamique la seconde génération de signalisation à bord que nous avons développée et qui prend en compte le contexte dans lequel se trouve le véhicule.

Dans la présentation de la signalétique embarquée statique, le système d'assistance à la conduite (ou co-pilote électronique) ne dispose que de l'information cartographique qui permet déjà d'afficher la signalisation routière directement sur le tableau de bord. Mais il peut encore faire plus, si on va rechercher dans la base de données les informations pertinentes en aval du point courant où se trouve le véhicule. On appelle « horizon électronique » cette possibilité d'aller faire des requêtes en aval dans la cartographie numérique, pour annoncer au conducteur un virage en épingle à cheveux non visible sur la droite ou encore l'approche d'un carrefour dangereux. L'appellation co-pilote électronique se justifie dès lors de mieux en mieux.

Nous allons franchir encore un pas supplémentaire en ajoutant au GPS et à la cartographie des informations provenant de d'autres capteurs.

Ainsi le système de signalétique embarquée tient compte maintenant du contexte de conduite dans lequel se trouve le véhicule et nous pouvons utiliser le qualificatif de signalétique embarquée dynamique.

Nous présentons une première version simple qui n'utilise comme capteur qu'une caméra embarquée et pas de GPS pour la localisation. La caméra détecte les actions de freinage et les clignotants du véhicule précédent et en fait une recopie sur le tableau de bord.



Nous allons présenter les scénarios sur lesquels nous avons validé ce nouveau concept. Le premier concerne l'approche d'une intersection avec une route secondaire qui présente un panneau stop.



Annnonce d'une intersection avec panneau stop grâce à la technique de l'horizon électronique et surveillance par vision du véhicule à l'arrêt.

Le GPS et la cartographie permettent d'annoncer l'intersection et le panneau stop qui se trouve à 55 mètres sur l'image. Mais cette information peut être exploitée pour accroître notre sécurité en activant le système de vision embarqué qui, connaissant la position approximative du stop dans l'image, va effectuer une recherche de véhicule qui serait sur la route secondaire en position de franchir le stop. Ce véhicule est détecté et la signalétique embarquée passe à

l'orange pendant que l'algorithme de vision effectue un tracking de surveillance du véhicule dans le voisinage du stop.



Annnonce d'une intersection avec panneau stop grâce à la technique de l'horizon électronique et surveillance par vision du véhicule à l'arrêt.

Alors que notre véhicule ne se trouve plus qu'à 24 mètres de l'intersection, le véhicule arrêté au stop s'est avancé sur la chaussée au-delà du marquage. Ce mouvement a été détecté par le système de vision et la signalisation à bord du véhicule est passée au rouge. Cette fusion entre les informations délivrées par le GPS, la cartographie et la vision artificielle permet donc de faire un pas supplémentaire dans l'assistance sécuritaire à la conduite.

Nous allons présenter un autre scénario un peu plus compliqué et qui met en œuvre des informations supplémentaires en particulier un radar pour détecter les véhicules et le bus CAN qui délivre l'information vitesse.

Les trois images suivantes appartiennent à une même séquence vidéo du scénario et correspondent à des temps croissants. Notre véhicule s'apprête à rattraper un véhicule plus lent. Le véhicule rattrapé est détecté ici par le radar à l'avant de notre véhicule mais il pourrait l'être aussi par la caméra embarquée à l'avant du véhicule. En interrogeant l'horizon électronique, le GPS et la cartographie permettent de savoir l'existence d'une intersection non visible de notre véhicule et située en aval à 170 mètres environ.



L'éventualité que le véhicule précédent tourne à la prochaine intersection est une hypothèse qui est activée par le système qui activera des algorithmes de vision spécialisés dans la détection des feux clignotants et des feux stop.



Dans un premier temps le clignotant droit est détecté sur la seconde image.



Les feux stops qui s'allument au moment du freinage du véhicule précédent sont détectés à leur tour. La vitesse de notre véhicule lue sur le bus CAN est affichée. La distance de sécurité déterminée par le radar est respectée et le signal vert est activé sur le tableau de bord de notre voiture.



La dernière image correspond au rejeu du même scénario mais nous avons simulé cette fois-ci une vitesse trop élevée de notre véhicule (91 kms/h) et une distance de sécurité trop faible. Le système de signalétique embarquée active alors un signal rouge sur le tableau de bord du véhicule.

Le détecteur de piétons

D'une manière générale les outils techniques d'analyse et de compréhension de l'environnement de conduite diffusent lentement dans les systèmes de transports intelligents. Toutefois les efforts portent principalement sur la détection et la localisation des véhicules avec comme objectif des applications ciblées comme le régulateur de vitesse adaptatif ou encore le stop and go.

La détection et la localisation des usagers vulnérables et plus particulièrement des piétons et des cyclistes présentent une spécificité et un intérêt pour accroître la sécurité.

Au même titre qu'un véhicule, le piéton constitue dans un environnement de conduite une cible qu'il faut **détecter**, **reconnaître** en tant que piétons, **localiser** et éventuellement **suivre** dans son déplacement.

Les solutions industrialisées et commercialisées actuellement pour détecter les véhicules utilisent le radar qui permet à la fois de détecter la position et la vitesse des véhicules. On trouve cette technologie dans les régulateurs de vitesse à contrôle de distance. Bien que la vision soit moins onéreuse que le radar et possède un champ d'analyse plus grand, elle n'est pas proposée par les constructeurs pour ces applications. Les raisons sont sans d'une part le fait que la vision monoculaire permet la détection angulaire de l'obstacle, mais la détermination de la distance à l'obstacle suppose l'hypothèse d'une route plane et la détection des points de contact de l'obstacle avec le sol. Par ailleurs la mesure de la vitesse de la cible obtenue aisément par radar Doppler est plus difficilement accessible par la vision monoculaire.

Nous avons développé une approche innovante dans l'analyse du trafic et la détection des voitures par vision monoculaire. Cette méthode effectue une fusion de résultats entre plusieurs algorithmes qui travaillent en temps réel et en parallèle. Ces détecteurs sont notamment :

- Un détecteur de symétrie : une voiture vue de l'arrière présente en effet un plan de symétrie.
- Un détecteur d'ombre : on trouve toujours une ombre projetée au sol entre les roues arrières d'une voiture que l'on suit
- Un détecteur de lignes verticales et horizontales qui marquent les côtés, le toit et la lunette arrière du véhicule
- Un détecteur de feux arrières rouges

Toutefois on comprend bien que ces divers algorithmes qui ont été validés sur les voitures ne conviennent pas pour détecter des piétons c'est pourquoi nous avons décidé de développer une méthode spécifique pour cette tâche

Observons tout d'abord qu'il y a deux classes de problèmes dans la détection de piétons : le cas où la caméra est localisée en un endroit fixe et observe la scène où se déplacent les piétons et le cas où la caméra est elle-même embarquée dans un véhicule en mouvement et observe les piétons. Nous qualifions ces deux configurations respectivement d'analyse **statique** et d'analyse **dynamique**.



Détection de piéton à partir d'une caméra mobile embarquée. (on observe dans l'image le reflet du tableau de bord dans le pare brise)

Il est clair que le second problème est plus difficile à résoudre que le premier.

L'analyse statique a déjà fait l'objet de nombreux travaux. C'est un cas de figure que l'on rencontre lorsqu'on veut détecter les passants sur un passage piétonnier ou dans un lieu public (couloir de métro, aéroport, gare, salle d'accueil...). Les applications peuvent concerner la sécurité des lieux ou la réalisation de signalétique intelligente.

A priori, si on sait résoudre l'analyse dynamique on saura traiter l'analyse statique qui apparaît comme un cas plus simple où la vitesse de la caméra est nulle.

Dans la détection de piétons en analyse statique, on fait jouer un rôle privilégié à l'image du champ observé sans piétons qu'on qualifie d'image de référence. La détection de piétons se fait par différence entre l'image courante et l'image de référence, différence qui fait apparaître l'objet recherché s'il existe. Cette méthode est utilisée par exemple pour analyser les files d'attente de voitures à une intersection ou la détection automatique d'incident comme un véhicule immobilisé sur une voie dans un tunnel.

L'image de référence n'existe plus si la caméra d'observation placée en frontal derrière le pare brise d'une voiture se déplace elle-même, c'est ce cas que nous traitons.

Sans entrer dans les détails des algorithmes qui font l'objet de publications, nous allons expliquer de manière didactique le principe de la méthode. Elle comprend quatre modules :

- 1- Un classificateur binaire qui après apprentissage et sur présentation d'une image rectangulaire susceptible de contenir un piéton répond par oui ou par non avec un taux de probabilité.
- 2- Un détecteur de jambes : lorsqu'un piéton marche, son image présente une suite de lignes obliques qui sont mises en évidence par un algorithme de détection de contours.
- 3- Un estimateur de mouvement qui détecte les zones de l'image où un mouvement est observable
- 4- Un détecteur classique de contours verticaux.

Les algorithmes 2-3-4 sont assez classiques et exploitent les particularités des piétons. Ils servent notamment à initialiser les cibles piétons potentielles.

Le classificateur binaire constitue la partie la plus innovante de la méthode. Nous allons expliquer son fonctionnement. Il présente deux modes de travail : le mode apprentissage et le mode exécution.

Le mode exécution est le plus simple puisque dans ce mode, pour décider, le classificateur prend en compte un ensemble de paramètres résultats du mode apprentissage, il reçoit en

entrée une imagerie qu'il met dans un format standard et répond de manière binaire positivement ou négativement à la présence d'un piéton dans l'image. En fait ce n'est pas un classificateur mais N classificateurs qui votent et qui disposent d'un poids dans la décision finale.

Le mode apprentissage est plus complexe. Son but est de construire le fichier de paramètres qui vont être utilisés dans le mode exécution et qui représente « l'expérience » ou le « savoir-faire » du détecteur. Ce savoir-faire est basé sur l'apprentissage et par conséquent sur un grand nombre d'images qui ont été présentées au système et qui contiennent ou non un piéton. Ces milliers d'échantillons sont rangés dans deux répertoires dits positif et négatif.

Pour reconnaître un piéton, on recherche de manière directe dans les images des « configurations de pixels » ou après traitement « des structures de données » qui soient présentes dans des images contenant des piétons et absentes dans des images ne contenant pas de piétons. Si une seule configuration de pixels répondait de manière certaine à la question, le problème serait résolu, malheureusement il n'en est pas ainsi et la réponse est en fait une probabilité. La recherche d'une configuration de pixels dans une image revient en fait à appliquer un filtre linéaire sur l'image, le filtre étant un masque associé à la configuration de pixels. Si le taux de bonnes réponses du filtre sur l'ensemble d'apprentissage est supérieur à 0.5, il est retenu comme classificateur potentiel et sera considéré comme classificateur faible ou fort selon que son taux est inférieur ou supérieur à 0.75.

Dès lors, l'apprentissage consiste en une double exploration, une exploration consistant à augmenter le nombre d'échantillons de la base d'apprentissage ce qui revient à prendre en compte la variabilité des contextes et à accroître la robustesse de la méthode, une exploration consistant à augmenter le nombre de classificateurs élémentaires, à les mettre en compétition et à ne retenir que les plus efficaces.

Le processus est initialisé en générant de manière aléatoire plusieurs filtres qui donnent les premiers résultats et sont classés selon leurs performances. Chaque filtre donne naissance à trois autres filtres par un processus de « mutation génétique », lesquels sont à leur tour mis à l'épreuve, puis retenus ou éliminés selon qu'ils sont ou non plus performants que la génération des filtres parents.

C'est l'opérateur humain qui décide du nombre de classificateurs élémentaires et de l'ensemble d'apprentissage.

La phase d'apprentissage impose de disposer d'un grand nombre d'échantillons qui sont en fait les images de séquences vidéo filmées dans le type d'environnement où l'on souhaite mettre en œuvre le détecteur de piétons. Les imagerie de la base d'apprentissage sont fabriquées par l'opérateur pour les premières puis générées automatiquement pour les autres. Comme il faut répondre positivement ou négativement à chacune des imagerie de la base d'apprentissage, des outils d'assistance ont été développés pour semi automatiser cette phase qui pourrait apparaître besogneuse autrement.

Observons que l'opérateur n'est jamais intervenu pour expliquer au système ce qu'était un piéton, il a simplement présenté des échantillons piétons et non piétons au système et celui-ci a trouvé seul, les « configurations de pixels » appelées classificateurs élémentaires qui lui permettent de reconnaître un piéton. En conséquence, le système n'est pas seulement un détecteur de piétons mais un détecteur de « n'importe quoi » dès lors qu'on lui présente une base d'apprentissage de « n'importe quoi » et de « non n'importe quoi ».



Détection de piétons de jour en ville par caméra embarquée



Détection de piétons de nuit en rase campagne par caméra embarquée

La boîte noire

La « boîte noire » ou enregistreur de vol est associé à l'aéronautique où elle permet pendant un vol d'enregistrer un très grand nombre de paramètres techniques y compris les conversations dans le cockpit, permettant ainsi à posteriori de trouver les causes d'un possible accident.

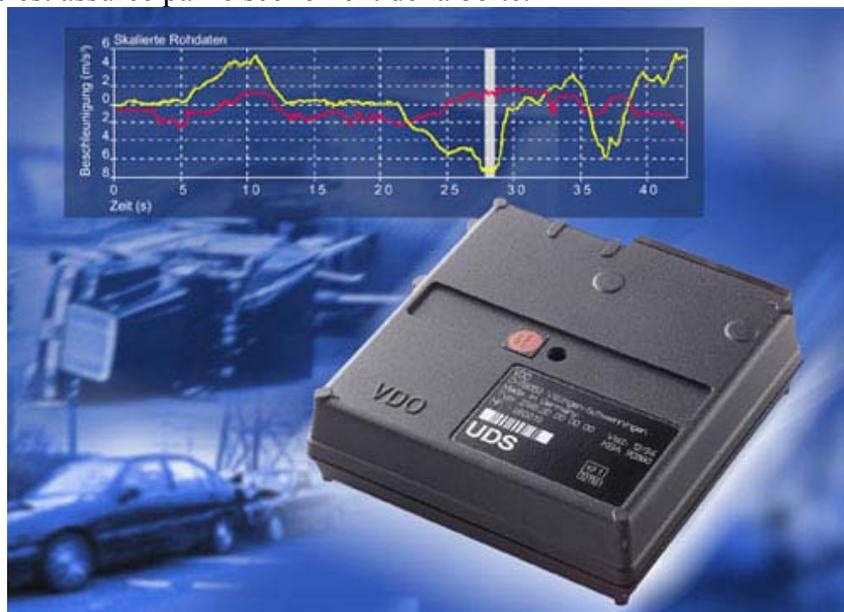
Dans le domaine automobile, on utilise aussi le terme boîte noire ou enregistreur de données d'accidents. Plusieurs fabricants ont déjà développé de tels systèmes électroniques qui enregistre en permanence les principaux paramètres d'un véhicule qui sont théoriquement

sous contrôle du conducteur : vitesse, accélération, décélération, direction, freinage, clignotants, ou éclairage.

En cas d'accident, le système a mémorisé les 30 dernières secondes et poursuit l'enregistrement et la mémorisation des données pendant les 15 secondes suivantes. Ce sont alors quelques 45 secondes conservées dans la mémoire protégée de la boîte noire qui peuvent être analysées pour comprendre et expliquer ce qui s'est passé au moment de l'accident.

C'est cette fonction qui intéresse les pouvoirs publics car elle devrait permettre aux forces de l'ordre d'élucider plus facilement les causes des accidents mortels.

Pour recueillir et conserver les données, la boîte noire est munie de capteurs internes (accéléromètres, compas) dont les indications sont complétées par les informations propres du véhicule (vitesse, freinage, clignotants, éclairage...). La mémorisation des données est effectuée sur des cartes mémoires MMC qui les protègent contre toute manipulation. Elles peuvent être transférées vers un PC via une liaison RS-232, USB ou IEEE1394 pour être analysées. Une pile interne permet de les conserver en mémoire pendant plusieurs années et la confidentialité est assurée par le scellement de la boîte.



Le modèle de boîte noire UDS du constructeur VDO

Du point de vue de la société, il est important de pouvoir à posteriori élucider les accidents mortels et la boîte noire peut y contribuer comme dans le domaine aérien, toutefois on peut facilement imaginer une utilisation détournée qui consisterait à se servir des données pour contrôler le comportement des conducteurs. La vitesse et le temps de conduite seraient très facilement vérifiables.

Les pouvoirs publics reprendraient l'exemple des routiers qui doivent subir le contrôle permanent de leur tachymètre. Après l'équipement du réseau routier en radars automatiques, ce pas supplémentaire aurait des implications sociétales et politiques fortes.

On observera toutefois et cela est surprenant que les boîtes noires même dans l'aéronautique ne comportent pas d'enregistrement vidéo, ce qui pourtant constituerait une fonction très riche permettant de comprendre le déroulement d'un accident.

Notre contribution est précisément d'apporter cette fonction supplémentaire en proposant une boîte noire enregistrant outre les paramètres intrinsèques du véhicule (vitesse, actions sur les freins, clignotants, angle volant ...), les coordonnées GPS permettant la localisation, un canal audio, et un ou plusieurs canaux vidéo.

La technologie RT MAPS qui permet la création de bases de données datées et synchronisées convient pour réaliser une boîte noire de nouvelle génération, toutefois il faut l'adapter à ce

fonctionnement inhabituel. En mode de fonctionnement normal, c'est l'opérateur qui sélectionne les données à enregistrer et qui décide du début et de la fin de l'enregistrement. Dans le cas de la boîte noire, on ne cherche pas à enregistrer et à mémoriser les données sur tout le parcours mais on doit être en mesure à tout moment de pouvoir reproduire les 30 dernières secondes par exemple. Pour cela on crée trois fichiers de 10 secondes (ou plus généralement N secondes) qui constituent des registres tournants et qui fonctionnent en mode FIFO. Chaque nouveau fichier qui se ferme chasse le plus ancien et prend la troisième position. Ceci représente le fonctionnement normal, que le véhicule roule ou soit arrêté. Par contre, si un accident survient, il faut clore le fichier en cours d'enregistrement et en ouvrir un nouveau qui enregistrera pendant P seconde la période post accident. L'évènement qui automatiquement activera la session de clôture de la «boîte noire sera par exemple le signal des accéléromètres de déclenchement de l'air bag.

La fonctionnalité boîte noire a été implémentée par la Société INTEMPORA et est illustrée dans un accident simulé sur les pistes de Satory selon un scénario et le matériel mis à disposition par le LIVIC (Laboratoire sur les Interactions Véhicules – Infrastructures - Conducteurs)



La bande de roulement virtuelle

La bande de roulement est un dispositif sécuritaire mis en place par les gestionnaires de voiries pour éviter les sorties de routes. Les statistiques montrent en effet que de nombreux accidents ont lieu sans tiers alors que pour des raisons inconnues le véhicule quitte sa voie de roulement et s'en va sur le bas côté. Très souvent, ces accidents arrivent en ligne droite sans raisons apparentes si ce n'est un manque d'attention du conducteur ou un début de somnolence lié à la monotonie ou à la fatigue.

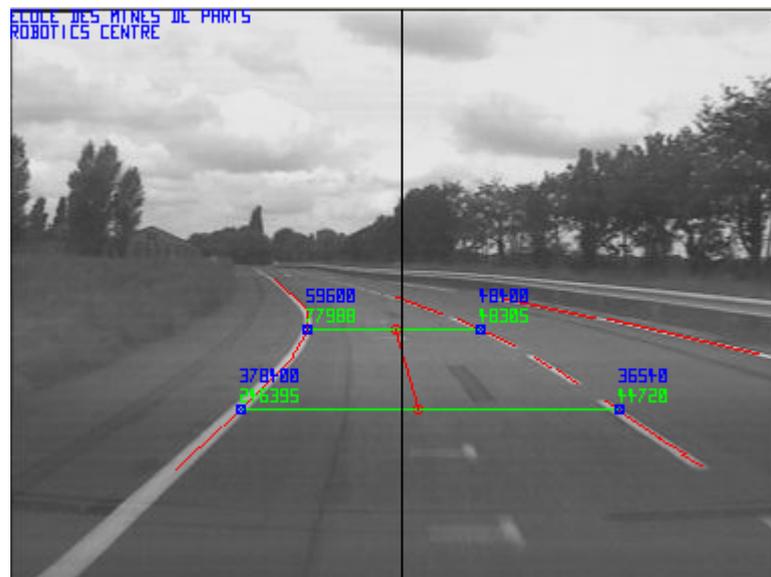
En plaçant des délimiteurs de voie sous forme de bandes rugueuses intermittentes, les pouvoirs publics estiment que l'on diminue de 20 à 30% ce type d'accident. Les avantages de ces bandes de roulement au niveau de la sécurité sont donc réels et significatives mais il y a aussi quelques inconvénients. En premier lieu, il y a un coût de réalisation et de maintenance, et en second lieu ces bandes sont bruyantes non seulement pour le conducteur mais aussi pour

les riverains pour qui elles constituent une pollution sonore continue. Ceci explique que les bandes rugueuses soient peu déployées en milieu urbain.

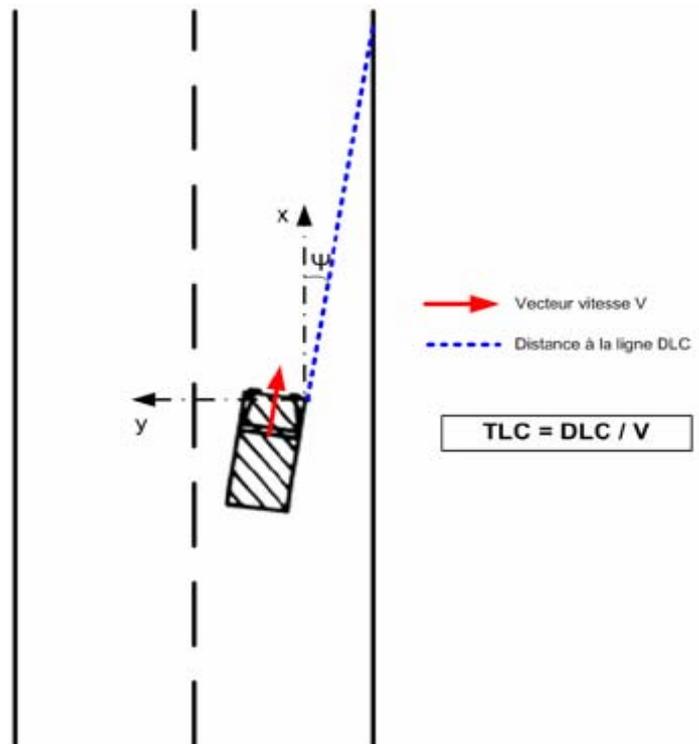
Nous proposons de simuler l'existence d'une bande rugueuse sonore sur les bords de la voie de façon à ce que le conducteur perçoive les déviations de sa trajectoire vers le bord de la route et nous appelons cette technique **bande de roulement virtuelle**.

L'avantage est que la technologie est portée par le véhicule et non plus par l'infrastructure, dès lors il n'y a plus de nuisance pour les riverains. Du point de vue économique, le coût de la technologie est à la charge de l'utilisateur et non plus de la collectivité. En contre partie, l'utilisateur tire un bénéfice personnel immédiat du point de vue de sa sécurité de son investissement.

La bande de roulement virtuelle utilise un algorithme d'analyse de l'environnement de conduite et de détection de la route par vision. A partir d'une caméra embarquée en frontale, on détecte par traitement d'image les lignes de marquage au sol et on en déduit la position latérale du véhicule par rapport au bord de route et son orientation angulaire (photo ci dessous)



Connaissant la position et l'orientation du véhicule sur sa voie et sa vitesse, on calcule en permanence le temps mis par le véhicule pour franchir la bande de roulement. Ce temps noté TLC (Time to Line Crossing ou temps avant coupure de la ligne) correspond au temps restant avant que le véhicule n'empiète sur le marquage au sol (figure ci dessous). L'application compare alors ce temps à un seuil prédéfini (Ce seuil ajustable sera pris typiquement égal à 2s) et déclenche une alerte si ce temps lui est inférieur.



Au niveau du conducteur on peut imaginer trois types d'alertes

- Vibrations : le contact pneu - bande rugueuse n'est pas continu et crée des vibrations de faible intensité dans tout l'habitacle que l'on peut restituer au niveau du conducteur en activant un siège vibrant.
- Bruit : le contact pneu - bande rugueuse et les vibrations qu'il entraîne dans le véhicule produisent un son grave relativement fort du côté de la bande rugueuse ce qui permet de la localiser.
- Résistance de la colonne de direction : la bande rugueuse est légèrement plus haute que le reste de la chaussée, le véhicule a donc tendance à ne pas monter dessus ce qui introduit un couple dans la colonne de direction.

Nous avons choisi dans notre démonstrateur la solution sonore qui est la moins onéreuse et la plus simple à mettre en œuvre.

Le générateur de bande sonore virtuelle sera activé par l'algorithme de calcul du TLC après application de filtres temporels sur le haut-parleur gauche ou droit selon le cas. On peut relier la fréquence du son à la vitesse du véhicule pour accroître le réalisme de la bande virtuelle.



L'analyseur de trafic

Actuellement la régulation du trafic est réalisée principalement en milieu urbain et consiste à utiliser de manière optimale les surfaces roulantes disponibles sur l'infrastructure. En effet, la congestion qui est l'un des grands problèmes difficiles à résoudre, résulte d'un déséquilibre entre l'offre et la demande de surface roulante dans des endroits donnés et à des moments donnés.

Lorsqu'un véhicule est à l'arrêt, il occupe une surface au sol de quelques mètres carrés appelée surface de parking et qui en environnement urbain où il y a pénurie correspond à une valeur significative. Mais dès lors que le véhicule roule, il faut assurer une distance de sécurité à l'avant et à l'arrière du véhicule, distance qui croît avec la vitesse. Cette bulle de sécurité qui entoure la voiture en mouvement limite le taux d'occupation des chaussées et lorsque la demande de surface circulante qui dépend des véhicules augmente trop vite par rapport à l'offre, qui elle est constante, alors on observe des bouchons. Pour résoudre ce déséquilibre, il n'y a que peu de solutions :

- Augmenter la surface disponible ce qui conduit à augmenter le réseau. Cette solution est coûteuse, longue à mettre en œuvre et détériore l'environnement
 - diminuer la demande en agissant sur la fiscalité ou en mettant des contraintes d'autorisation de circulation comme les numéros d'immatriculation pairs par exemple, ce qui conduit à restreindre les libertés des citoyens
 - Augmenter la productivité de l'infrastructure en diminuant la surface roulante des véhicules. C'est ce que permettrait l'automatisation de la conduite. En effet la distance inter véhicules basée sur le temps réflexe humain peut être considérablement abaissée par la mise en œuvre d'un contrôle longitudinal automatisé. C'est ainsi que le débit optimal sur une voie en conduite manuelle est obtenu pour une vitesse de 60 k/h et correspond à 2200 véhicules par heure alors qu'il peut être multiplié par 4 ou 5 avec des véhicules automatisés.
 - Agir sur les débits au travers des feux de circulation ou du contrôle des rampes d'accès, mais les possibilités restent limitées
 - Informer en temps réel les usagers de l'état du trafic afin qu'ils prennent eux-mêmes les décisions à savoir changer d'itinéraires, s'abstenir de circuler, modifier ses horaires
- ...

Le système d'information routière s'appuie sur l'analyse du trafic.

Qu'il s'agisse d'une grande ville par exemple Paris, d'un réseau régional comme l'Île de France ou de tout un pays, la gestion du trafic suppose d'abord de s'informer sur l'état de la circulation dans Paris est le centre d'une agglomération de plus de 10 millions d'habitants qui effectuent plus de 20 millions de déplacements journaliers, dont 7 millions dans Paris et entre Paris et banlieue. Parmi ces déplacements, 60 % sont assurés par les transports en commun et 35 % par les voitures. Chaque jour 3 millions de véhicules entrent ou sortent de Paris et le volume du trafic a augmenté de 10 % sur les derniers 10 ans.

Le meilleur moyen de qualifier quantitativement l'état du trafic est de diviser le réseau en cantons auxquels sont associés des triplets Q, T, V ou Q est le débit en nombre de véhicules heure, T le taux d'occupation et V la vitesse.

Le système d'information routière se divise en trois grands modules :

1 - La collecte de l'information

Les principales sources disponibles pour rassembler l'information trafic sont les boucles magnétiques, la Police et la Gendarmerie qui disposent de moyens de surveillance et de communication, la surveillance aérienne à certaines occasions ou certaines heures, la RATP qui suit chacun de ses bus et est ainsi informé sur l'état du trafic le long de ses lignes, le Réseau d'Appel d'Urgence (RAU) sur les autoroutes, la surveillance par caméras.

2 - Le traitement de l'information

Ce traitement peut se faire à différents niveaux. Les données des boucles magnétiques sont des données élémentaires qui doivent être prétraitées, cumulées sur des horizons temporels courts avant d'être transmises à un calculateur frontal. Les régions géographiques sont sous le contrôle de Postes de Commande (PC) qui doivent agréger les données dans le temps sur des horizons plus longs, consolider les informations des diverses sources et qualifier l'état du trafic. Les divers PC doivent à leur tour être interconnectés pour obtenir une vision globale.

3 - La diffusion de l'information et la commande en réaction sur le réseau

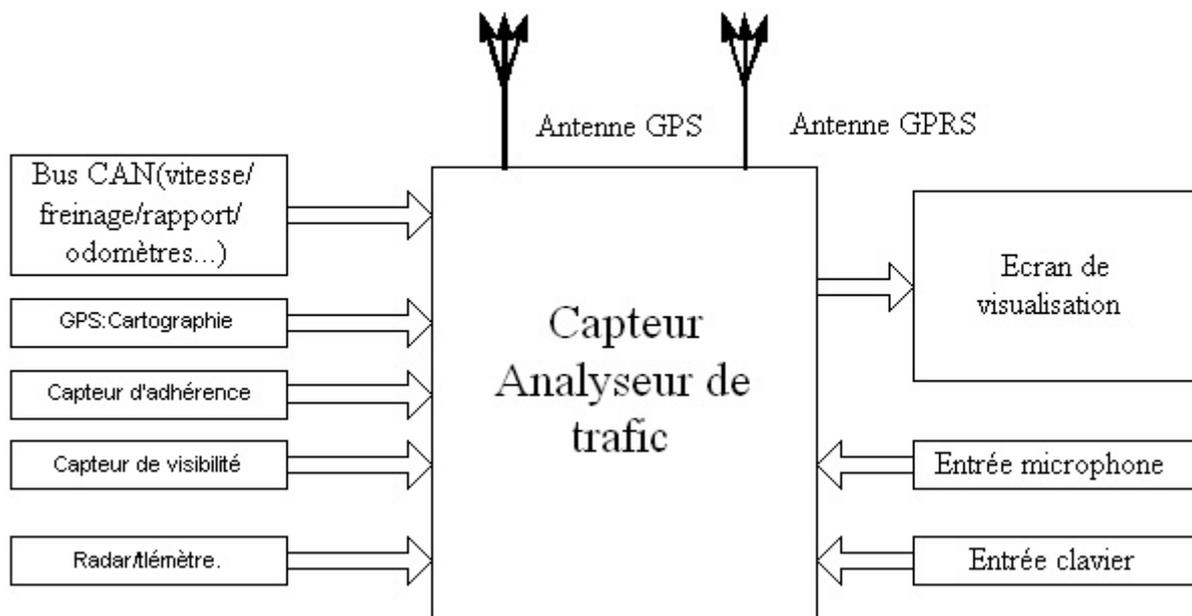
Les principaux moyens de réaction directe sur le réseau de transport sont les Panneaux à Messages Variables (P.M.V.), les Feux d'Affectation des Voies (F.A.V.), les Contrôles d'Accès (C.A.). Par ailleurs l'information peut être diffusée vers les usagers et le public par divers médias : radio, minitel, internet, terminaux embarqués....

L'idée nouvelle que nous avançons se situe au niveau de **la collecte de l'information**. En effet, actuellement c'est l'infrastructure instrumentée avec des boucles magnétiques ou des caméras vidéo associées à des algorithmes de détection de véhicules qui alimente les calculateurs d'analyse du trafic. Or ce n'est pas l'infrastructure qui crée la congestion mais bien les véhicules. Par ailleurs tout capteur de trafic lié à l'infrastructure est par nature fixe. Comme ce sont des capteurs onéreux, cela explique que seules les métropoles soient instrumentées en outils de perception du trafic et d'information en temps réel aux usagers.

La solution alternative que nous avançons est d'utiliser les véhicules eux-mêmes comme capteurs pour réaliser l'analyse du trafic.

Le conducteur d'un véhicule détecte lui-même à partir de sa perception du contexte si la circulation est fluide ou chargée. Toutefois s'il sait constater qu'il est dans un bouchon, il ne sait pas en apprécier l'ampleur car son champ de perception est insuffisant.

Nous proposons de développer un capteur intelligent embarqué capable comme le fait le conducteur de décrire de manière locale et qualitative l'état du trafic et de transmettre cette information à un centre serveur qui analysera les données et les fusionnera avec celle communiquées par d'autres véhicules équipés de manière similaire.



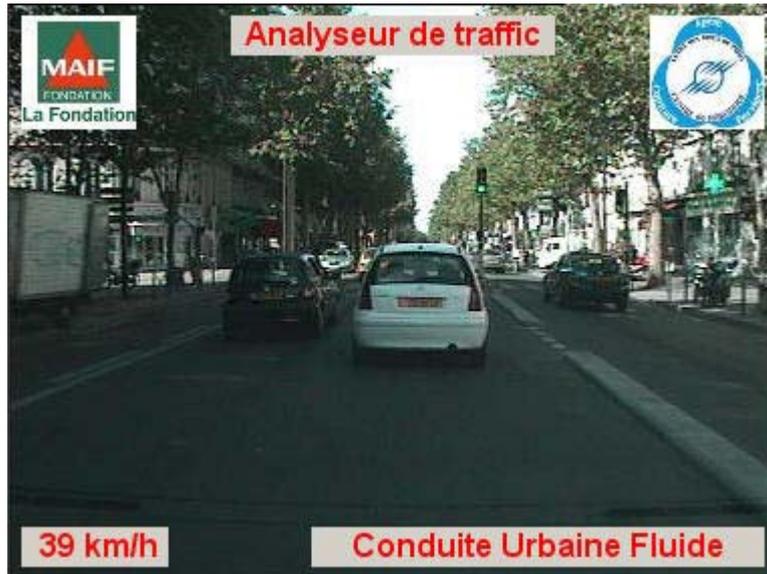
Le capteur embarqué de trafic s'appuie donc essentiellement sur les nouvelles technologies de localisation et de communication.

Son schéma de principe représenté ci dessus est un système informatique embarqué dit OBU (pour On Board Unit) qui permet :

- l'accès au bus CAN du véhicule et son décodage pour connaître en temps réel la vitesse, au rapport de vitesse enclenché, à l'angle volant, au compteur kilométrique pour accéder aux distances parcourues, aux actions sur le freinage, aux commandes de clignotants, de feux de routes ou de croisement...
- Aux données GPS pour localiser le véhicules et savoir s'il est en environnement urbain, autoroutier, rural. Ce qui permet de connaître le contexte et par suite les vitesses moyennes normales sur le secteur de route utilisé.
- La cartographie (Système d'Informations Géographiques) qui sera enrichie dans les futures générations par rapport aux versions actuelles uniquement dédiées à la navigation.
- Des entrées clavier ou microphone permettant au conducteur de devenir un acteur coopératif.
- Des entrés de capteurs vidéo, radar, télémétrie susceptibles d'apporter des contributions à l'analyseur de trafic.
- Dans l'avenir des capteurs d'adhérence et de visibilité pour renseigner les gestionnaires de trafic.

L'analyseur de trafic reçoit en entrée les informations précédentes auxquelles il faut ajouter, la date, l'heure de la journée, et comprend un algorithme qui s'efforce de donner des informations qualitatives sur l'état du trafic sur le secteur routier considéré.

Devant les difficultés, nous avons mis au point une version simple de l'analyseur de trafic qui prend en entrée la vitesse, le GPS, la détection par vision des véhicules et élabore une information agrégée de type : circulation urbaine fluide, circulation urbaine chargée, circulation autoroutière fluide, circulation autoroutière chargée, situation anormale ...



« Le Cindynomètre » : Annexe scientifique et technique

Rappel de l'annexe technique de la convention Fondation MAIF – Armines qui définissait les travaux à effectuer

OBJECTIFS ET INTÉRÊT EN MATIÈRE DE PRÉVENTION ET DE SÉCURITÉ

Chaque année, on compte 8000 morts par accidents sur les routes de France. Chaque jour 140 personnes sont tuées en voiture en Europe, soit l'équivalent d'un avion qui s'écraserait chaque jour.

Pour chaque accident, il y a quatre causes possibles : le conducteur, le véhicule, la chaussée ou les conditions climatiques. Souvent on peut avancer plusieurs raisons, mais le conducteur a sa responsabilité engagée dans plus de 90% des cas. Les nouvelles technologies de l'Information, de la Communication et de la Robotique présentent de fortes potentialités pour améliorer cette situation. La solution passe par l'élimination du risque humain au travers d'une automatisation progressive de la conduite.

La route automatisée supposera très certainement une instrumentation de la chaussée de sorte que la route ne sera plus une bande de roulement bitumée passive, mais deviendra lisible et communicante avec les véhicules.

La fonction analyse de l'environnement de conduite et perception du risque est le point dur de l'automatisation. C'est ce sujet que nous adressons.

Pour démontrer l'intérêt du projet en terme de sécurité et de prévention, nous allons expliciter les principales composantes du cindynomètre déjà citées.

La signalétique embarquée

Nous imaginons l'intérêt de rendre la route lisible, donc instrumentée pour permettre à des automates embarqués de lire la géométrie de la route, les consignes de vitesse, les feux de contrôle des carrefours. La technologie existe pour permettre cela : rubans magnétiques, transpondeurs, aimants et magnétomètres, balises. Mais le réseau de routes en France avoisine le million de kilomètres et il n'est pas concevable d'équiper toutes les routes dans un proche avenir. Les pouvoirs publics sont tentés d'équiper en premier, les autoroutes et les zones urbaines. Pourtant beaucoup d'accidents ont lieu en milieu rural, sur les routes départementales et communales qui représentent plus de 90% du réseau.

Une solution consiste à exploiter les potentialités du système de localisation GPS et de la cartographie numérique pour proposer une signalétique routière embarquée.

Actuellement c'est l'homme qui lit au travers de la signalétique routière, la géométrie de la route, les consignes de vitesse, les feux de croisement... Au lieu d'équiper la chaussée de balises émettrices, nous proposons d'utiliser le GPS différentiel pour lire la route et annoncer au conducteur tous les dangers potentiels. Ainsi le conducteur ne serait pas surpris par un virage serré, par un panneau stop qu'il n'a pas vu, par une limitation de vitesse dans la traversée d'un village. La limitation de vitesse que le conducteur ne voit qu'une fois à l'entrée de l'agglomération serait affichée en permanence sur son tableau de bord pendant toute la traversée de la zone soumise à la limitation.



Bande de roulement virtuelle

Beaucoup d'accidents résultent d'une faute d'attention ou de la fatigue et le conducteur quitte sans raison apparente la chaussée pour aller au fossé. Un système de détection du bord de la chaussée ou des lignes de marquage au sol si elles existent, avec génération d'une bande sonore de roulement lorsque le cap du véhicule n'est plus maintenu correctement, éviterait ce type d'accident. Nous proposons d'implémenter un algorithme de détection de lignes blanches ainsi qu'une interface sonore restituant une alerte au moment où le véhicule quitte sa voie de roulement sans avoir mis son clignotant.

Analyseur de modes de conduite

L'analyseur de modes de conduite. Ce système collecte la vitesse, l'accélération, les rapports de vitesse, l'angle volant et qualifie le type de conduite par exemple « urbaine douce », « urbaine agressive », « autoroutière rapide »...

La boîte noire

Cette expression fait penser immédiatement à l'aéronautique, et elle s'en inspire effectivement. Les diverses informations proprioceptives (vitesse, accélération, régime moteur, odométrie, positions GPS etc.) peuvent maintenant être collectées très facilement grâce au bus CAN. Il en est de même des informations extéroceptives (caméras vidéo, ultrasons, radar, lidar, télémètre. .).

RT-M@PS, le cœur du cindynamètre est un outil particulièrement puissant pour réaliser la boîte noire sous toutes ses variantes techniques.

Mais au-delà de la technique, ce concept de boîte noire pose des problèmes juridiques, politiques, sociétaux.

Nous proposons d'étudier ces divers aspects, de spécifier ce qu'il convient d'enregistrer et ce que cela pourrait présenter comme intérêt pour les divers acteurs. Parallèlement nous nous proposons de réaliser une boîte noire et d'expérimenter avec nos outils sur le prototype du laboratoire.

A titre d'exemple la boîte noire pourrait être chargée de conserver sous forme de mémoire glissante un enregistrement vidéo du passé récent. Ainsi dans l'hypothèse d'un accident, l'enregistrement de la boîte noire pourrait être exploité par les assurances pour décider des responsabilités.

La boîte noire pourrait par ailleurs remplacer avantageusement les « mouchards » présents actuellement sur les poids lourds et qui sont entièrement analogiques.

L'analyseur de danger

L'analyseur de danger du cindynamètre prend en charge l'évaluation de la situation courante en terme de niveaux de danger, à partir des informations fournies par les capteurs (GPS, cartographie numérique, vision artificielle, capteur d'état du sol, etc.). L'analyseur de danger effectue des traitements variés en temps réel sur ces diverses mesures pour élaborer ses indices de dangerosité et conseiller le conducteur. Cette évaluation est fondée sur les connaissances des différentes formes de danger envisagées. L'analyseur de danger alimente l'interface homme-machine, le copilote électronique et la boîte noire.

Prenons un exemple pour illustrer les fonctionnalités du gestionnaire de danger immédiat. En ville dans un embouteillage, le conducteur roule à basse vitesse (10 à 30 km/h), freine souvent et redémarre en première fréquemment. Le risque d'entrer en collision par l'arrière avec le véhicule qui précède est grand. Grâce au cindynamètre, un système expert analyse la situation, se rend compte que l'on est dans un embouteillage et que le risque est significatif. Il active alors la veille par des senseurs adéquats (télémètre laser, ultrasons...) et pourra le cas échéant mettre une alerte ou même freiner en urgence.

Les livrables

T0+12 mois : Rapport d'avancement + Démonstration comprenant la signalétique embarquée et une partie de la boîte noire.

T0+24 mois : Rapport d'avancement + Démonstration comprenant la signalétique embarquée, la boîte noire, la bande de roulement virtuelle, et une première version de l'interface homme machine du cindynamètre.

T0+30 mois : Rapport final comprenant la synthèse des travaux fait en coopération avec le CEESAR+ Démonstration du cindynamètre avec son interface homme machine visuelle et sonore.

Tables des matières

Ce rapport présente de manière didactique les travaux effectués au Centre de Robotique de l'Ecole des Mines de Paris.

Un second document au format HTML présenté sur CD-ROM permet en plus de montrer sous forme de vidéos numériques, les démonstrations qui ont été réalisées dans le cadre de ce travail.

Nous remercions vivement la Fondation MAIF pour la confiance qu'elle nous a accordée et son aide financière.

Claude Laurgeau

LA SIGNALÉTIQUE EMBARQUÉE.....	1
La signalétique embarquée statique	2
La signalétique embarquée contextuelle ou dynamique.....	3
LE DETECTEUR DE PIETONS	9
LA BOITE NOIRE	12
LA BANDE DE ROULEMENT VIRTUELLE.....	14
L'ANALYSEUR DE TRAFIC	17
« LE CINDYNOMETRE » : ANNEXE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE	21
La signalétique embarquée.....	21
Bande de roulement virtuelle	22
Analyseur de modes de conduite.....	22
La boîte noire.....	22
L'analyseur de danger	23
TABLES DES MATIERES	24