

# Du Transport Intelligent à la Route Intelligente

Pierre-Yves Texier

L.C.P.C. (Laboratoire Central Des Ponts et Chaussées  
59, boulevard Lefebvre 75732 Paris CEDEX 15

Pierre-Yves.Texier@lcpc.fr

**Résumé** – Une tendance mondiale, lourde et irréversible se dessine. Les conducteurs sont de plus en plus aidés (dans leurs efforts et dans leur tâche de conduite) et le droit change. L'information se diversifie, se structure et se personnalise. Cette tendance conduit à des évolutions. Aujourd'hui, le gestionnaire de la route a la charge de donner aux conducteurs les informations (visuelles, kinesthésiques et parfois sonores) nécessaires à la conduite. Demain ces informations et les caractéristiques géométriques et physiques de la chaussée seront transmises par de nouveaux médias. Les conducteurs plus ou moins aidés en déduiront leur domaine de contrôlabilité.

Les vitesses consigne, la répétition des feux et panneaux à l'intérieur des véhicules, les distances d'arrêt, les conditions de circulation des différents itinéraires sont autant d'informations qu'attendent les conducteurs. Et ils ne comprendraient pas que l'infrastructure ne pas soit en mesure de leur donner. La notion de service devient prégnante et la justice, de plus en plus présente. Leur action conjuguée contribuera à inciter voire à obliger les gestionnaires à accompagner leur capacité à faire par une obligation de le faire et d'informer.

L'article situe les enjeux et la nécessité d'une approche conceptuelle globale pour que l'infrastructure soit partie prenante des systèmes de transport intelligent et propose une ligne directrice pour y parvenir s'appuyant sur le concept de trajectoire.

Il est une invitation à ouvrir le champ des applications du traitement du signal pour mieux cerner, définir et faire communiquer entre eux les sous systèmes du transport qui, à n'en pas douter deviendra de plus en plus « intelligent ».

**Abstract** – . An important and irreversible world-wide trend is apparent. Driving aids are providing more and more assistance to drivers as they perform their activities and driving task. Information is becoming more highly diversified, structured and personalized. This trend is giving rise to foreseeable changes. Today, road managers expect the road to provide drivers with the necessary information for driving through sight and occasionally sound and vibration. Tomorrow the road will need to provide this information (and more) through new media. These media will also have to provide drivers and driving aids with physical details which will enable them to determine the domain of controllability of their vehicle on the basis of the geometrical and physical characteristics of the carriageway.

Target speeds, the repetition of traffic signals and signs, stopping distances, traffic conditions on the various routes are all types of information which drivers expect to receive, and if the infrastructure is unable to provide them they will fail to understand why. As services become pre-eminent and law and justice are more and more present, it will become our legal duty to turn our ability to know and do into an obligation to inform and do.

The paper identifies the stakes and the need for a general conceptual approach to enable the infrastructure to play an active role in ITS and proposes a general approach based on the concept of kinematic trajectory in order to achieve this.

It aims at opening the field of Intelligent Transportation Systems to image and data processing techniques in order to give better answers to complementarity of STI subsystems which doubtless will become more and more intelligent.

## 1 UN CONTEXTE ET UNE NECESSITE

Le transport routier doit intégrer une tendance mondiale, lourde et irréversible. Les conducteurs sont de plus en plus aidés (dans leurs efforts et dans leur tâche de conduite). L'information se diversifie, se structure et se personnalise.

L'industrie des constructeurs automobiles, des équipementiers, de l'informatique et des opérateurs et des télécommunications est partie prenante. Pour organiser son marché, elle a engagé des démarches conceptuelles pour situer entre eux les différents constituants des **STI (Systèmes de Transport Intelligents)** et les liens qui les font interagir. L'enjeu est considérable pour la télématique et les services. Les industriels l'ont bien compris qui ont engagé de très nombreuses démarches et animés quantité de groupes de travail internationaux. Ils ont donc réfléchi et posé les bases des différentes normes, standards et principes généraux d'architecture nécessaire à la mise en place des STI vu du point de vue du client « conducteur ».

L'enjeu n'est pas moindre pour l'infrastructure. Pour la seule France, quelques 30 millions de véhicules dont 5 millions de poids lourds et 1 million de km de voirie dont 70% sur des routes à deux fois une voie sont concernés. Ce secteur représente plus de 600 000 emplois à part sensiblement égales entre les véhicules et l'infrastructure<sup>1</sup>.

Si une démarche analogue à celle menée pour la télématique n'est pas faite du côté de l'infrastructure, les constructeurs, gestionnaires et exploitants de l'infrastructure ne seront pas en mesure de remplir leur missions. Il est temps de mener une démarche sur le rôle que doit remplir l'infrastructure.

L'absence de solvabilité immédiate par le marché et l'inertie liée au caractère de patrimoine national de l'infrastructure sont autant d'éléments qui militent en faveur d'une démarche volontariste. Cette démarche se justifie d'autant plus qu'il ne faut pas compter sur son renouvellement « naturel ». En effet, la durée de vie moyenne d'une voiture peut être estimée entre 10 et 15 ans, celle de la route sur laquelle elle roule est beaucoup longue. Les changements auxquels elle devra faire face et pour lesquels elle doit s'organiser sont importants et d'autant plus difficiles à mettre en œuvre qu'ils ne sont pas dans la culture habituelle des constructeurs de route.

## 2 LA PROBLEMATIQUE

### Aujourd'Hui

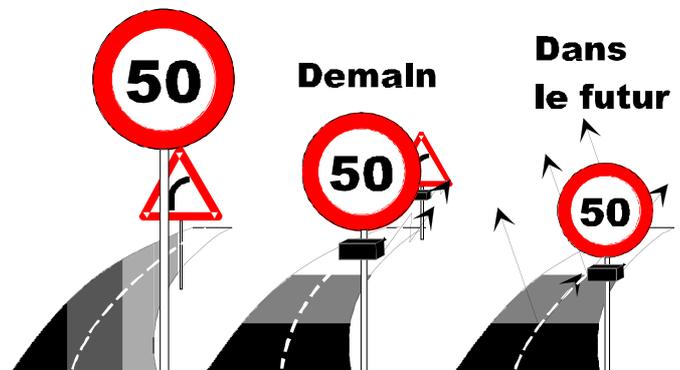


FIG. 1 : La route change

Demain, la route et ses équipements auront la responsabilité de fournir, grâce à des médias nouveaux, les informations que le conducteur interprète aujourd'hui essentiellement à partir de perceptions visuelles et kinesthésiques (et parfois sonores).

Selon un rythme à adapter à la consistance des aides à la conduite et à leur vitesse de dissémination, il sera nécessaire à l'avenir d'adapter la nature des informations et des médias aux conducteurs, aux automates d'aides à la conduite, aux systèmes de gestion des mobiles et aux systèmes de gestion de flotte.

Parmi les éléments de la problématique, « les conducteurs » – c'est-à-dire les **ECC (Entités en Charge de la Conduite)**, plus ou moins « aidées » par des automatismes – occupent une place centrale. Deux études récentes réalisées pour le compte du groupement chargé de mener la réflexion sur « la route automatisée »<sup>2</sup> montrent que les attentes des usagers de la route se modifient. Les conducteurs « gros rouleurs » à qui l'on avait proposé un scénario d'automatisation complète de la conduite en bouchon (le cas du Boulevard périphérique de Paris) s'y sont montrés très favorables, élargissant même spontanément le scénario à une automatisation de la conduite sur de portions complètes d'itinéraires. Il ressort également de l'enquête auprès des journalistes (consolidé par le point de vue des constructeurs) que la voiture est considérée de plus en plus comme un lieu de vie au détriment de l'image du plaisir de conduite dominant jusqu'à présent.

### 3 L'IDENTIFICATION DES CONCEPTS ET DES FONCTIONS

L'infrastructure doit rendre « lisibles » et interprétables les éléments nécessaires aux l'ECC pour déterminer leurs domaines de « contrôlabilité » c'est à dire les éléments « route » leur permettant de se représenter avec une précision suffisante la réponse cinématique du véhicule aux commandes. Cette fonction de base d'obéissance aux commandes de l'ECC dépend, non seulement des caractéristiques du véhicule, et mais également de celles de l'infrastructure. En ce qui concerne le véhicule, les principaux déterminants sont la puissance disponible, l'état des pneumatiques, des freins, et de la suspension et la réponses aux commandes et à leur enchaînement. En ce qui concerne l'infrastructure, ce sont les profils, les états de surface et les points singuliers (carrefours, convergents divergents, discontinuités dans les profils).

La détermination des fonctions à remplir et des informations à fournir par l'infrastructure supposent donc la connaissance des caractéristiques des véhicules et des comportements des ECC. Suivant que l'on se projette à des horizons plus ou moins lointains, cette connaissance devra être de plus en plus fine et conjoncturelle.

Compte tenu des enjeux financiers et du caractère lentement évolutif du patrimoine routier, le parti à prendre pour la détermination des horizons et des fonctions à analyser est de participer à la construction et à l'évolution des fonctions génériques. Il ne s'agit pas uniquement de se focaliser sur des aides spécifiques mais de mener une réflexion visant à identifier celles s'inscrivant dans un contexte global.

Les fonctions sont interdépendantes. Les objets et fonctions doivent être précisés lors d'une démarche itérative les situant dans le cadre plus vaste des STI. Lors du développement de ces systèmes ou d'applications spécifiques (CAREN<sup>3</sup> constitue un cadre européen structurant), il sera également possible de faire appel aux outils habituellement utilisés pour bâtir les architectures.

### 4 FONCTIONS OBJETS

Un certain nombre d'objets et de fonctions participent au déplacement des mobiles et s'articulent autour du concept de trajectoire cinématique.

On peut définir la trajectoire cinématique comme le mouvement au sens de la cinématique du solide (c'est à dire la ligne décrite par le mobile qui la parcourt et à laquelle sont associés point par point la vitesse, l'accélération et le jerk du mobile). Si le mobile est articulé, on peut avoir intérêt à différencier puis combiner la cinématique de ses divers composants.

L'idée générale sous-tendue par le concept de trajectoire cinématique et ses déclinaisons est de fournir aux différents partenaires de la route (constructeurs, gestionnaires et exploitants de l'infrastructure, conducteurs, véhicules etc.) à la fois les caractéristiques typiques que devrait respecter l'infrastructure et celles conjoncturellement offertes.

L'objectif est de proposer des concepts permettant de situer, dans une vision qui se veut globale et structurelle, la voiture, son conducteur et la route en se focalisant sur la route elle-même. Le concept de base et les fonctions associées développé dans la suite est celui de trajectoire. Résumée à l'aide de ce concept, la problématique peut s'exprimer ainsi : « fournir à l'entité en charge de conduite » une représentation de la trajectoire cinématique que devrait suivre le véhicule – s'il est seul – et les indications qui lui permettront d'apprécier son écart par rapport à cette trajectoire cinématique».

Après en avoir donné une définition des objets et des fonctions, on s'attachera à les situer dans les STI.

Quelques définitions

- Entité en charge de la conduite « ECC » : conducteur plus ou moins aidé par des automatismes qui l'informent ou prennent en charge certaines tâches de conduite,
- Espace roulant : lieu conçu pour supporter des trajectoires acceptables,
- Trace : projection de la trajectoire cinématique sur l'espace roulant,
- Trajectoire cinématique de référence : trajectoire cinématique compromise selon laquelle a (ou aurait du être construite) la route et que les véhicules qui le peuvent ou le souhaitent décrivent selon la trajectoire cinématique retenue
- Trajectoire cinématique cible : trajectoire cinématique que souhaite décrire un véhicule (trajectoire dont sont déduites les séquences de commande en termes d'angle volant, accélération / freinage etc.),
- Trajectoire cinématique effective : trajectoire cinématique que suit effectivement le véhicule en fonction des commandes appliquées au véhicule et de sa réponse (adhérence mobilisable etc.)
- Contrôlabilité : aptitude de l'ECC à suivre une trajectoire proche de la trajectoire cible

Le concept de trajectoire étant transposable aux différents mobiles, dans ce qui suit on considérera que les mobiles sont des véhicules.

## 4.1 TRACE

La trace est une vision « statique » de la trajectoire. Elle est la projection de la trajectoire sur l'espace roulant. La trajectoire peut alors s'exprimer comme :

Chaque trace doit pouvoir être décrite avec un maximum de sécurité et de confort pour l'ensemble des vitesses, accélérations et jerks associés dans la trajectoire. Elle constitue « la colonne vertébrale » des marquages au sol et autres implantations de délinéateurs.

## 4.2 ECC

Les entités en charge de la conduite sont constituées des conducteurs, des aides à la conduite et des dispositifs de contrôle partiel ou total associés. On entend ici, par aide à la conduite les dispositifs qui laissent la responsabilité de la conduite au conducteur même quand ils prennent en charge la réalisation d'une tâche (le freinage, par exemple) par opposition à ceux qui ne sont pas déclenchés et arrêtés par une action volontaire du conducteur.

Peu d'hypothèses sont faites sur la nature des dispositifs à ce stade car leur nature et leur vitesse de dissémination restent empreintes d'une grande incertitude. On peut cependant estimer comme probable l'introduction prochaine et à grande échelle des systèmes de freinage antibloquants, des suspensions dynamiques, des systèmes de guidage, des régulateurs de vitesse, des systèmes anti zigzag (tels que développés au Japon), etc.

Les ECC sont en évolution constante. La démarche conceptuelle proposée consiste, après avoir réalisé un recensement des dispositifs à l'étude ou proposés à la vente, à dresser l'inventaire :

- des fonctions remplies,
- des informations que devra donner l'infrastructure.

Comme il a été dit plus haut, l'analyse tendra à identifier les fonctions et objets de base les moins dépendants possibles des technologies employées.

Le développement des systèmes technologiques chargés de remplir les fonction ou d'extraire les attributs caractérisant les différents acteurs ses STI sont « ouverts ».

## 4.3 ESPACE ROULABLE

Espace regroupant l'ensemble des traces.

La détermination du « lieu conçu pour supporter des traces des trajectoires acceptables » correspond à une fonction générique. Elle permet de séparer « l'univers » en deux et d'attribuer une attention et une signification différentes aux mêmes objets selon qu'ils se situent dans l'un ou l'autre domaine.

Il s'agit de détecter (ou de rendre détectable) ou de signaler cet espace qui peut être défini dans un premier temps comme celui revêtu par une couche de roulement.

Pour illustrer l'intérêt de délimiter l'espace roulant, on peut citer la « détection d'obstacle » et le régulateur de vitesse intelligent. L'anticollision est sensée avertir le conducteur de la présence d'un obstacle sur sa trajectoire cinématique et l'AICC<sup>4</sup> agit sur la vitesse du véhicule pour maintenir une distance (en temps) constante entre le véhicule et celui qui le précède. Les tentatives de réalisation de cette double fonction se sont heurtées jusqu'ici au problème suivant. La détermination des « cibles » pertinentes était réalisée par des RADARS et des LIDARS. Un traitement approprié des informations fournies permet d'engendrer des cibles à partir des échos produits par les obstacles situés dans leur champ. Pour ne submerger les ECC d'informations, un premier tri est effectué en ne retenant que les cibles situées dans un angle solide donné dans la direction du déplacement du véhicule. Un deuxième tri élimine celles dont le différentiel de vitesse correspond à la vitesse du véhicule (pour éviter les arbres, piles de pont et autres panneaux de signalisation). Mais ce deuxième masquage occulte également les véhicules arrêtés en pleine voie (et autres obstacles). Un tri des cibles obstacles démasquant celles qui sont arrêtées sur les « traces » apporterait une réponse satisfaisante au problème posé.

Il s'agit de détecter (ou de rendre détectable) ou de signaler cet espace.

Le choix de limiter l'espace roulant à la partie de l'emprise routière revêtu d'une couche de roulement est arbitraire mais correspond à une caractéristique physique que l'on peut estimer comme pérenne dans les prochaines années. Cette restriction n'est, bien sur, pas restrictive de la prise en considérations d'autres domaines comme les bas-côtés ou les lits d'arrêts. Elle correspond à un choix de démarche progressive.

#### 4.4 TRAJECTOIRE CINEMATIQUE DE REFERENCE

Il est possible de concevoir une Trajectoire cinématique de référence par type de mobile (même si la coexistence sur la même infrastructure de plusieurs types de véhicules peut amener à considérer une seule trajectoire cinématique de référence pour l'ensemble des mobiles). Chaque trajectoire cinématique de référence est la trajectoire cinématique compromise des comportements des mobiles auxquels elle est liée.

Les caractéristiques de l'infrastructure elle-même sont (ou devraient être) pensées en termes de compromis.

Les trajectoires de référence doivent cohabiter et satisfaire des critères individuels et collectifs de qualité. Les trajectoires de référence peuvent être imposées comme cibles. Elles sont sûres et agréables malgré leurs interactions.

#### 4.5 TRAJECTOIRE CINEMATIQUE CIBLE

La trajectoire cinématique cible est la trajectoire cinématique que souhaite décrire l'ECC.

Les séquences de commande en termes d'angle volant, accélération / freinage etc. sont déduites de la trajectoire cinématique cible.

#### 4.6 TRAJECTOIRE CINEMATIQUE EFFECTIVE

La trajectoire cinématique effective est la trajectoire cinématique que suit effectivement le véhicule en fonction des commandes appliquées au véhicule et de sa réponse cinématique.

#### 4.7 CONTROLABILITE

On peut considérer qu'un véhicule est contrôlable si l'on sait définir « dans l'espace de trajectoires »

Si  $d$  est la "distance entre  $T_1$  et  $T_2$

$$\left( x, \vec{v}, \dot{\vec{v}}, \ddot{\vec{v}} \right)$$

$T_1$  trajectoire effective  
 $T_2$  trajectoire cible

**Contrôlabilité =  $d <$  valeur déterminée**

Les domaines de contrôlabilité sont fortement dépendants des adhérences mobilisables elles-mêmes liées à la suspension, aux conditions climatiques, à l'usure de la chaussée et des pneumatiques. Il apparaît donc qu'une relation dynamique entre les adhérences mobilisables et les trajectoires de référence ouvre un large champ aux concepts énoncés ici.

## 5 UNE INFORMATION DEJA DISPONIBLE...

Deux types « d'états de l'art » peuvent être dressés. D'une part un état de l'art sur les concepts eux-mêmes (ont-ils été déjà utilisés, où, comment, pourquoi, avec quel succès ?) et un état de l'art sur les composants envisagés pour caractériser les objets de l'environnement de la conduite et réaliser les fonctions énumérées ci-dessus

La plupart des informations requises pour mettre en œuvre les concepts de trajectoire cinématique sont déjà disponibles. Elles sont transmises aux conducteurs par l'intermédiaire de la signalisation verticale et horizontale, des panneaux d'avertissement de virages dangereux, de chaussée glissant etc. .

C'est ainsi que l'espace roulant et les trajectoires de référence sont matérialisés et que l'adhérence mobilisable ou paramètres « route » permettant de la déterminer (dévers, uni, coefficient de frottement transversal  $C_{ft}$ , coefficient de frottement longitudinal  $C_{fl}$ , etc..) sont connus mais restent à mettre en forme pour être utilisables.

Le travail à faire pour intégrer le stationnement et les points d'échange ou de conflits dans les trajectoires est important et nécessitera un travail substantiel pour être utilisable.

## 6 ... MAIS BEAUCOUP DE QUESTIONS SUBSISTENT ET ATTENDENT DES REPONSES

Quels dispositifs technique vont réaliser les fonctions.

Quelles infos et comment sont-elles engendrées, transmises, acquises par le conducteur, par l'automate « aide », par l'infrastructure. Quels bilans en termes d'efficacité (en quel sens), de sécurité, d'économie.

Quelles responsabilités pour quels acteurs ?

Quelles définitions spatiales ?

Temporelles ?

Quels attributs transmettre ou rendre lisibles ?

Doit-on prendre en compte la capacité du mobile à rejoindre sa trajectoire cinématique cible ?

Si la route connaît les trajectoires réelles effectives des véhicules, doit-elle les transmettre ?

## 7 DES RESPONSABILITES QUI SUIVENT L'EVOLUTION DU DROIT

Actuellement certains pensent (ou aimeraient penser) que le conducteur assume 100% de la responsabilité de la conduite. Les tribunaux montrent le contraire par la mise en cause des gestionnaires d'infrastructures et des constructeurs.

Les missions et les responsabilités des constructeurs automobiles, des équipementiers et des opérateurs vont changer dans un contexte de complexité croissante.

L'ensemble des parties prenantes doit s'y préparer. pour apporter les bonnes réponses.

## 8 UN CHAMP D'APPLICATION POUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET DES IMAGES

Les participants au dix-septième colloque GRETSI devraient trouver de quoi appliquer leurs techniques de :

- Théorie et modèles
- Communication et codage
- Traitement et analyse
- Filtrage
- Interprétation et décision
- Architectures matérielles et logicielles

Et maintenant au travail...

---

1 MÉMENTO DE ROUTE - *Direction des Routes*  
3ème Trimestre 1998 -

2 La route automatisée - Jean-Marc Blosseville,  
Michel Parent, Robert Eymard, Pierre-Yves Texier,  
Claude Laugeau - *Édition INRIA mars 1998*

3 CAREN est un programme européen ESPRIT  
[www.motek.org/caren/welcome.htm](http://www.motek.org/caren/welcome.htm)

4 Automatic Intelligent Cruise Control (fonction mise  
au point dans le cadre du programme européen  
Eureka PROMETHEUS)