

# Assistance sécuritaire à la conduite et route automatisée

## Driver assistance and automated driving

par Claude LAURGEAU

Professeur à l'École des Mines de Paris – Directeur du Centre de Robotique

### *résumé et mots clés*

Cet article comprend deux parties. La première traduit les idées personnelles de l'auteur sur les problèmes d'assistance à la conduite et le déploiement de la conduite automatisée. La seconde partie s'inspire largement des travaux conduits dans le cadre d'un contrat Prédit par un consortium baptisé LARA comprenant l'INRETS, le LCPC, l'INRIA, l'École des Mines, l'École des Ponts. LARA a été chargé de réfléchir à l'avenir des systèmes de transports intelligents et de proposer des scénarios de déploiement pour la France.

Sécurité, systèmes d'assistance à la conduite, conduite automatisée, route intelligente.

### *abstract and key words*

This paper is divided in two parts. First, the author develops his personal ideas concerning driver assistance techniques and automated driving. The second part is inspired by the common work of the LARA group led by INRETS (National Institute for Transport and Security Researches). LARA group had to propose reflections concerning the future of intelligent transportation systems and to suggest some possible scenarios for France.

Safety, driver assistance, automated driving, smart cars.

Avec un réseau routier de un million de kilomètres, 8 000 kilomètres d'autoroutes et 27 millions de véhicules, la France est un pays moderne et bien équipé.

Pourtant trois problèmes majeurs récurrents troublent la sérénité des autorités publiques, responsables des transports : **l'insécurité** avec plus de huit mille morts encore chaque année, **la congestion** qui se traduit par des millions d'heures de travail perdues dans les embouteillages et des conditions de vie de plus en plus pénibles pour les usagers, enfin l'incidence néfaste sur des transports routiers sur **l'environnement**.

Nous proposons d'examiner comment les technologies de l'information, de la communication et de la robotique peuvent contribuer à résoudre partiellement ou totalement ces problèmes.

Pour cela, l'article sera organisé en deux grandes parties. En premier lieu un regard synthétique personnel sur les solutions techniques possibles. Dans la seconde partie nous ferons l'analyse de quelques scénarios de déploiement de la Route Automatisée. Cette seconde partie est largement inspirée d'un travail commun conduit au sein du groupe Lara sous la direction de l'INRETS - LIVIC dans le cadre d'un contrat Prédit.

(voir le site <http://www.lara.prd>) .

De nombreux programmes de recherches ont été conduits ou sont encore en cours en Europe (Prométhéus, Drive, Adase, Chauffeur...), aux USA (PATH, IVHS, IVI, AHS...), au Japon par l'AHSRA, en Corée ou encore en Australie. La démonstration technologique la plus impressionnante faite sur ce sujet

reste celle de San Diégo en 1997. Les scénarios présentés dans la seconde partie de l'article n'ont pas été validés au niveau technologique. Ils sont le fruit d'une démarche conceptuelle amont, ils ont fait l'objet pour certains d'importants travaux de validation par simulation mais plusieurs scénarios restent encore à développer. Ils tiennent compte aussi du contexte spécifique de la France et ne seraient pas forcément transposable aux USA et au Japon.

## 1. les nouvelles technologies au service des transports terrestres de demain

Le problème du transport routier doit être appréhendé de manière globale et non pas apparaître comme la juxtaposition d'un problème **véhicule** et d'un problème **route**. Or un constat s'impose, dans tous les pays du monde les véhicules sont conçus par des entreprises privées et vendus aux usagers alors que ce sont les pouvoirs publics qui assurent la construction et l'entretien des routes. Ce problème structurel a des incidences fortes et freine notamment le déploiement des solutions nécessitant une interaction route véhicule. Il explique aussi l'attitude des constructeurs d'automobiles plus enclins à investir sur des améliorations propres à leur véhicule et réticents vis-à-vis de solutions qui supposent la coopération du véhicule avec la chaussée ou avec d'autres véhicules.

Ceci explique aussi l'approche progressive « **assistance à la conduite** » privilégiée par les constructeurs plutôt que l'approche développant d'emblée la « **route automatisée** » comme une nouvelle offre de transport.

Plusieurs prestations innovantes et autonomes ont été développées ces dernières années par les constructeurs et sont maintenant commercialisées comme le freinage ABS ou les coussins gonflables. Bien qu'assez onéreux et n'ayant bénéficié d'aucune mesure fiscale pour aider à leur déploiement, ils se sont largement répandus en quelques années. Ils sont l'illustration même de la stratégie des constructeurs. Ces dispositifs influencent peu le style de conduite du conducteur mais privilégient plutôt la sécurité passive ou le confort.

De nombreux autres dispositifs plus audacieux font l'objet de recherche chez les constructeurs et devraient être commercialisés prochainement. Nous en retenons quatre, qui à notre sens convergent à terme vers la route automatisée.

Le premier est le *régulateur de vitesse adaptatif* (ACC pour Autonomous Cruise Control). Ce dispositif est en effet une brique de base essentielle du **contrôle longitudinal**. Les premiers produits sont déjà commercialisés sur les véhicules Mercedes haut de gamme. On observera toutefois que l'Europe saute une marche en passant directement au régulateur de

vitesse adaptatif (ACC) alors que les conducteurs européens à la différence des américains ont boudé jusqu'ici le régulateur de vitesse simple (CC Cruise Control). On peut espérer que ce système qui accroît à la fois le confort et la sécurité et qui fait un pas significatif dans le sens de l'automatisation de la conduite, aura le même succès que l'ABS ou l'Air Bag.

Le second système en préparation est l'*assistance à la conduite en situation de congestion* (SG pour Stop and Go). Ce dispositif relève également du **contrôle longitudinal** mais à la différence de l'ACC, il n'interviendrait qu'à basse vitesse. Dans le cas de l'ACC, le capteur de distance au véhicule précédent en l'occurrence un radar, un lidar ou un télémètre laser sert à freiner pour maintenir une distance de sécurité. Au contraire dans le « Stop and Go », le capteur de distance sert plutôt à réaliser un accrochage virtuel. Il s'agit donc bien d'un dispositif capable de réaliser un train de véhicules à basse vitesse....Il va donc bien dans le sens d'une automatisation progressive.

Le troisième dispositif sera un *système d'alarme aux écarts latéraux* (« *lane departure* »). Il détectera la chaussée et en particulier les lignes de marquage au sol ou le bord de route avec émission d'alarme en cas d'écarts importants sur la route. Ce dispositif qui pourrait être mis en œuvre sur les poids lourds au début, contient les prémices du **contrôle latéral**. Ce dispositif peu onéreux pourrait avoir une contribution forte à la sécurité en prévenant notamment les baisses de vigilance du conducteur. Il est étonnant qu'aucun constructeur ne le propose encore alors que la solution technique existe et est peu onéreuse.

La quatrième innovation nous semble une amélioration des systèmes actuels de **navigation** qui proposerait des *fonctions de copilote*. En effet le navigateur par GPS actuel est parfaitement opérationnel et permet un guidage performant. Les prix encore élevés devraient s'éroder très vite sous la poussée de la concurrence et compte tenu du marché potentiel immense. Rappelons que plus de trois millions d'exemplaires sont déjà en service au Japon... La contribution du navigateur GPS est surtout un confort et un gain de temps pour l'utilisateur mais il y a aussi une contribution à la sécurité car le conducteur n'a pas à chercher sa route, à s'arrêter sur le bas coté pour prendre des renseignements sur une carte papier en perturbant le trafic. Le guidage actuel n'est que la première application du système mais on peut lui faire jouer un rôle essentiel dans la « lecture de la route ». En effet on peut imaginer des cartes numériques du réseau routier qui contiendraient une signalétique enrichie, notamment les points accidentogènes, les montées et les descentes, les virages en épingle, les carrefours dangereux, les STOP, les limitations de vitesses.... Nous avons démontré au Centre de Robotique de l'École des Mines la faisabilité de cette fonctionnalité que nous avons brevetée et appelée « la signalétique embarquée ».

Ainsi, nous venons de décrire quatre innovations qui sont autonomes, ne sont pas tributaires de l'instrumentation de la chaussée ni du financement des pouvoirs publics et dont le déploiement prépare l'avènement de la route automatisée.

Ces systèmes autonomes que nous venons de citer, donnent lieu à des prestations à valeur ajoutée de la part des constructeurs. Toutefois ils améliorent la conduite en terme de confort, moins en terme de sécurité et n'apportent quasiment rien en terme de réduction de la congestion. Pour ces deux derniers objectifs, nous allons essayer d'imaginer d'autres approches.

Un premier dispositif concerne le *guidage sur une trajectoire sécurisée*. Ce système suppose une aptitude très grande à « lire la route et son état réel ». Il s'appuie sur la connaissance d'informations caractérisant la chaussée (utilisées dans le copilotage cité précédemment). Il calcule des commandes précises de guidage latéral et longitudinal (cap, accélération, vitesse, freinage) prenant en compte les paramètres dynamiques des véhicules et les conditions externes de la chaussée (adhérence, visibilité...). Il conseille le conducteur, lui calcule une fonction de risque et le remplace si celui-ci tarde à prendre les mesures nécessaires dans le cas d'insécurité élevée. Le système peut être « pro-actif » c'est-à-dire capable de s'adapter au style de conduite du conducteur. Cependant, il obéit d'abord au code de la route et garde un objectif sécuritaire.

Le système suppose des dispositifs de communication véhicule-infrastructure embarqués dans les véhicules, dédiées à la localisation précise et à la transmission d'informations concernant l'infrastructure et l'état de la route. De nombreuses solutions existent comme par exemple les aimants, rubans magnétiques, catadioptriques, marquages, balises, transpondeurs... Aucune expérimentation n'a été faite tout au moins en France. Or, il est évident que les choix supposent des études expérimentales comparatives préalables et une large concertation entre les pays européens car la solution retenue ne pourra être que commune sous peine d'échec. Un certain savoir-faire sur la communication localisée route véhicule, a été acquis pour la mise en œuvre des péages automatisés. Cette communication par badge qui fait l'objet d'études élargies dans le projet AIDA par exemple, semble néanmoins onéreuse et rigide et n'offre pas de contribution significative au contrôle latéral ou longitudinal.

Un second dispositif vise plutôt à *faciliter la circulation en file* sur des infrastructures à haute densité comme les autoroutes péri-urbaines.

Des efforts importants ont été déployés pour l'information et la gestion du trafic, notamment dans les grandes métropoles. Tokyo mais aussi des nombreuses grandes villes européennes ou américaines tirent profit de ces méthodes de gestion globales. Les investissements concernent la mise en place de boucles magnétiques de comptage, de panneaux à message variables (PMV), de concentrateurs de données et de serveurs payant d'informations. Le principe est relativement simple. Le réseau est partitionné en cantons délimités par des capteurs de passage type capteur magnétique. Sur chaque canton on écrit sur une unité de temps une équation de bilan du type : le flux entrant moins le flux sortant correspond à l'accumulation donc à la formation éventuelle de bouchons. Les indicateurs sur l'état de saturation du trafic sont ensuite concentrés, traités et servent à

répartir les flux en minimisant la congestion. Ces technologies actuelles sont onéreuses (150 Kf pour une station de mesure fondée sur les boucles magnétiques, jusqu'à 1 MF pour un panneau à messages variables), elles sont peu flexibles et ont une couverture géographique réduite, pour les PMV notamment.

Les nouvelles technologies de communications et en particulier le GSM ou ses variantes futures recèlent un gisement potentiel considérable pour résoudre ces problèmes de gestion de trafic. En effet, ils sont peu onéreux et le législateur peut décider d'imposer la présence d'une puce GSM sur chaque nouveau véhicule construit. Les véhicules sont transformés en capteurs de trafic et il n'est même pas besoin d'attendre le remplacement de tout le parc de voitures pour disposer de données représentatives sur l'état du trafic. Cette solution permet aux gestionnaires de disposer d'une perception plus précise du trafic et beaucoup moins onéreuse. Sans être la route automatisée, elle permettrait de diminuer de manière significative la congestion. De surcroît cette technologie permettrait de développer d'autres services comme la lutte contre le vol des véhicules, l'appel d'urgence, etc.

La mise en œuvre d'une **communication véhicule – véhicule**, conduirait à des progrès très importants. On peut imaginer *en effet un système de gestion des inter distances* s'appuyant sur des fonctions de contrôle longitudinales (ACC + SG) et un système d'alerte déclenché sur une défaillance d'un véhicule, sur la détection d'un obstacle ou de tout événement nécessitant un freinage d'urgence. Chaque véhicule ayant son identifiant propre comme les machines informatiques en réseau, la communication locale de véhicule à véhicule constitue la base d'une amélioration de la conduite en file.

Une question se pose : faut-il toujours appeler automobiles des véhicules qui disposeraient de telles fonctionnalités de contrôle longitudinal, latéral, de lecture de la route de communication avec la chaussée ou les autres véhicules ? Lorsque les chevaux ont été remplacés par des moteurs à explosion, les calèches sont devenues des automobiles et les diligences des autocars. L'autonomie énergétique a été assurée d'où le nom « d'automobile » mais la fonction navigation et guidage n'ont pas été modifiées. Le cocher a été remplacé par un conducteur diplômé d'un « permis de conduire ». Nous proposons d'appeler les nouveaux véhicules qui disposent non seulement de l'autonomie énergétique mais aussi d'une autonomie partielle de navigation et de guidage, des « cybercars » ou « robocars ». Naturellement les cybercars conservent tous les attributs et toutes les fonctionnalités des véhicules d'aujourd'hui et en particulier peuvent circuler en conduite manuelle (assistée tout au plus) sur la majeure partie du réseau routier actuel. Ils ne pourront être très assistés ou même automatisés que sur une faible partie du réseau routier, la partie soumise aux plus fortes contraintes de demande, d'environnement, de conditions météorologiques ou de relief... L'accès à ces parties du réseau sera probablement assujéti à un péage.

Prolongeant, les capacités des systèmes d'aide à la conduite qu'ils soient autonomes ou qu'ils participent d'une coopération

inter-véhicule ou d'échanges avec l'infrastructure, la **Route Automatisée** apporte une réponse aux deux premiers des trois problèmes majeurs mentionnés dans l'introduction.

Tout d'abord, en ce qui concerne la sécurité, 90 % des accidents ont pour origine une défaillance humaine, l'automatisation de la conduite qui à terme minimise ou même supprime l'homme dans la boucle de conduite élimine par là même les risques correspondants. L'automatisation offre donc une marge potentielle considérable pour accroître la sécurité.

En ce qui concerne la **congestion**, celle-ci résulte d'un déséquilibre entre l'offre et la demande de surface circulante. Comme il apparaît exclu de baisser la demande, la seule solution est d'augmenter l'offre. Augmenter l'offre c'est agir de manière quantitative en continuant de construire de nouvelles autoroutes, ou de manière qualitative en augmentant l'efficacité de ceux qui existent. La construction de nouvelles autoroutes classiques est à la fois très onéreuse et pénalisante pour l'environnement. Il faut donc privilégier l'accroissement de productivité du réseau existant. Nous allons montrer par un raisonnement simple la voie à suivre.

Chaque véhicule qui stationne occupe une surface au sol de huit à dix mètres carrés. Cette surface privée (parking ou garage) ou publique (voirie ou parking) a une valeur significative surtout dans les grandes agglomérations. Mais le même véhicule qui roule occupe une « surface circulante » beaucoup plus importante et dont le coût est toujours supporté par la collectivité publique. Nous imaginons chaque véhicule qui se déplace comme entouré d'une bulle de sécurité qui définit sa consommation en surface circulante. Cette bulle a une largeur et une longueur que nous allons nous attacher à diminuer. La largeur vaut 3,5 mètres et correspond à la largeur normalisée des voies en Europe (elle est de quatre mètres aux USA). Or la quasi totalité des voitures ont une largeur inférieure à deux mètres, il y a donc un gâchis considérable. Le contrôle latéral permet, sur des voies réservées aux véhicules légers, de rouler de manière précise, sur une voie de deux mètres vingt. Ainsi vu par la collectivité publique qui finance les routes, le mètre carré de voie rapide voit sa productivité accrue de 50 %.

La longueur de la bulle est représentative de la distance de sécurité nécessaire entre deux véhicules. La distance de sécurité minimale est la somme de deux termes : un terme qui traduit les réflexes limités du conducteur humain, un terme qui exprime le différentiel des capacités de freinage du véhicule et de son prédecesseur.

C'est surtout le premier terme qui pourra être abaissé de manière significative dans l'hypothèse d'une conduite automatisée. Ainsi on prend souvent pour le conducteur un temps de réflexe de 1,5 secondes ce qui correspond à une distance de sécurité de 30 mètres à 72 k/h. Ce temps peut être abaissé à 0,5 secondes dans l'hypothèse d'une conduite par automate, ce qui ramène la longueur de la bulle de sécurité à 10 mètres. En divisant par trois la surface circulante consommée par le véhicule, on multiplie par trois les débits correspondants. C'est donc une augmentation

minimale de 300 % de la productivité du mètre carré de bitume que permet le contrôle longitudinal

En cumulant les contributions du contrôle latéral et du contrôle longitudinal, la productivité de la surface roulante d'une route automatisée croît de plus de 400 % par rapport à la voirie actuelle.

De tels gains ont été souvent observés dans l'histoire de l'automatisation que ce soit dans l'agriculture, ou l'industrie manufacturière par exemple.

Il me paraît inconcevable que l'histoire passe à côté d'un tel gisement d'économies.

## 2. quelques scénarios prioritaires pour le déploiement de la Route Automatisée

Nous avons imaginé quelques scénarios possibles pour la route automatisée. La pertinence d'un système de route automatisée doit reposer sur son acceptabilité par la société. Cette acceptabilité prend en compte :

- le rapport coûts sur bénéfices rendus par la route automatisée.
- les économies indirectes : réduction des accidents, réduction de la congestion... ,
- les économies directes : économies sur les dépenses d'énergie,
- les gains sur la qualité de service : confort, souplesse dans la conduite en conduite en trafic dense, diminution du stress, apport de services additionnels,
- la compatibilité, c'est-à-dire l'aptitude à une implantation progressive, avec intégration d'un existant qui évolue au rythme lent du renouvellement des équipements.
- le raisonnement « réseau » : la route automatisée sera un maillon d'un système global (et multi modal) de transport ; toute décision d'investissement ou relative à son exploitation devra toujours être prise dans ce cadre cohérent plus général,
- les responsabilités bien précisées entre les différents intervenants, et notamment celles du conducteur, ...

La recherche des bénéficiaires de la route automatisée conduit à mettre en évidence une multiplicité d'usagers potentiels dont les objectifs et les attentes diffèrent notablement. Les attentes peuvent par ailleurs varier selon la localisation du déplacement : urbain, péri urbain, inter urbain, rural, ...

À partir de la localisation géographique des déplacements, nous avons défini et travaillé sur la base de scénarios génériques.

La compatibilité avec l'existant a été prise en compte dans tous les scénarios. La répartition de l'intelligence entre l'infrastructure, le véhicule et le conducteur ont fait l'objet d'une attention particulière et notamment par un déploiement selon des étapes successives qui permettra un certain apprentissage.

Le choix des scénarios prioritaires a été effectué sur les attentes les plus fortes concernant l'amélioration des transports terrestres. L'objectif est ensuite de cerner les situations dans lesquelles peuvent être déployés des scénarios de route automatisée et d'identifier leur contribution potentielle à ces améliorations. Ces attentes portent sur les accidents, les congestions, les dépenses d'énergie, la pollution de l'air et le bruit

## 2.1. scénario A : rural sécuritaire

Ce scénario provient de l'analyse de l'insécurité routière dans les zones rurales, qui sont le lieu d'accidents nombreux. La gravité étant plus importante sur les routes départementales que sur les routes nationales. La réduction du nombre des accidents sur les voies rurales qui représentent environ le tiers des accidents de la route, représentent un véritable enjeu. Les causes d'accidents y sont relativement spécifiques et diversifiées :

- sortie de route (plus d'un tiers des morts sur la route résultent de problèmes de suivi de la route),
- croisements
- fatigue
- état d'ébriété du conducteur.

Sachant qu'il y a peu de congestion et peu de troubles environnementaux en milieu rural, le scénario rural a pour objectif ultime l'amélioration de la sécurité.

Les techniques de la route automatisée pouvant être utilisées en milieu rural relèvent largement de l'assistance à la conduite et ont été largement abordés ci-dessus.

Une notion importante est le concept de trajectoire de référence qui décrit la position latérale, la vitesse et l'accélération du véhicule en fonction de l'abscisse curviligne sur la chaussée. Autrement dit, la chaussée ne doit plus être un ruban de bitume passif mais doit être lisible par le véhicule. Le gestionnaire de voirie ne se contente plus d'entretenir une bande de roulement mais offre un véritable service.

Les deux types d'accidents rencontrés fréquemment sont les sorties de route et les accidents de croisement. Ces accidents pourraient être réduits de façon importante par des systèmes qui aideraient le conducteur à rester sur sa trajectoire et à contrôler sa vitesse. On pense en particulier aux personnes âgées qui voient leurs capacités réactives décroître et dont le pourcentage dans la population s'accroît.

On envisage donc pour ce scénario, le guidage latéral sur le véhicule, la modulation de la vitesse au moyen de techniques de cartographie précise et de communication locale avec l'infrastructure au moyen de balises. Ainsi l'annonce d'une sortie d'école serait désactivée pendant les vacances, les vitesses limites pourraient être modulées en fonction du jour, de l'heure ou du temps.

## 2.2. scénario B : amélioration de la circulation autoroutière inter-urbaine

Ce scénario provient de l'analyse de l'insécurité routière dans les liaisons inter-urbaines, qui sont les lieux d'accidents peu nombreux mais dont la gravité est importante surtout lorsque les poids lourds sont impliqués.

Les accidents sur les autoroutes causent environ trois cents morts par an en France. Les autoroutes sont donc plutôt sûres relativement aux autres voies. Les accidents en chaîne sont très meurtriers et ont un impact médiatique important. Les poids lourds, bien que peu nombreux, sont responsables d'accidents nombreux et graves. Le trafic des poids lourds est considéré comme un facteur de risque et une cause des accidents sur ces voies. Pour ces raisons il paraît important d'étudier l'apport de la conduite automatique sur ces voies et de proposer dans un premier temps un traitement spécifique des poids lourds.

### 2.2.1. la route camion

Ce scénario consiste à imaginer, sur quelques grands axes autoroutiers européens, des « trains » de camions qui pourraient être organisés et mis en circulation entre des gares construites à proximité des autoroutes empruntées. Dans une première étape, seul le camion en tête du « train » serait conduit manuellement. Les autres camions suivraient celui-ci automatiquement par accrochage (virtuel ou mécanique) entre les camions consécutifs.

Ce scénario est une réponse à l'augmentation du trafic sur les infrastructures autoroutières les plus sollicitées. Pour la France, il s'agit de l'axe Nord-Sud et aussi des autoroutes de contournement urbain. On sait que c'est dans ces cas que se concentrent la majorité des problèmes de saturation, en particulier pour les transports de marchandises.

L'objectif essentiel de ce scénario concerne la diminution des accidents sur autoroute, en particulier ceux qui impliquent les poids lourds. La mise en œuvre de ce scénario permettrait par ailleurs la diminution des temps de trajet, leur meilleure prédictibilité, et l'augmentation de la productivité générale du transport par poids lourds. Ces objectifs à eux seuls peuvent justifier économiquement les coûts liés aux techniques de la route automatisée.

À ces objectifs prioritaires sur le plan économique, un autre objectif qui peut être recherché, est la diminution des nuisances et en particulier de la pollution. On pense aux environnements urbains et en montagne.

Les techniques de la route automatisée permettent avant tout une bonne maîtrise des véhicules en latéral et en longitudinal, ce qui permet d'améliorer la sécurité et éventuellement le débit et la consommation si les véhicules circulent en peloton.

Le projet européen conduit par Daimler Benz, nommé « Chauffeur » constitue une brique de base significative dans

cette direction. Il s'agit de réaliser l'accrochage virtuel de poids lourds pour diminuer la fatigue des conducteurs, économiser l'énergie et accroître la sécurité.

### 2.2.2. la route à grande vitesse ou « autoroute automatique »

Ce scénario est similaire au précédent mais appliqué aux véhicules légers. Il s'agit d'une nouvelle infrastructure, sans doute protégée, réservée à des véhicules publics (en location...) ou privés adaptés et pouvant rouler en mode manuel sur les routes classiques.



Figure 1. – Démonstration de conduite automatique en peloton à IITS Séoul octobre 1998.

Les avantages sont l'amélioration du confort, de la vitesse, du débit, de la sécurité et la réduction du coût des infrastructures. En effet des voies limitées aux seules cybercars seraient beaucoup moins onéreuses que les autoroutes classiques car les charges à l'essieu sont beaucoup moins importantes.

En effet au lieu de faire des voies de roulement de 3,5 mètres de large, on pourrait se limiter à deux mètres, ce qui augmenterait la productivité économique du mètre carré de voie de 100 %. Il est envisageable par ailleurs d'installer une alimentation électrique par la route.

La circulation en peloton permettrait encore d'augmenter le débit et d'accroître la productivité de l'investissement.

### 2.3. scénario C : structuration des déplacements en rocade de banlieue à banlieue

Ce scénario vise à accroître la mobilité en zone périurbaine, à diminuer la congestion.

En ce qui concerne la congestion, il convient de prendre principalement en compte les travaux sur l'analyse de la mobilité en zone urbaine.

L'amélioration de la mobilité routière radiale en zone urbaine est un facteur d'extension géographique de celle-ci, avec à la clé une augmentation de la consommation d'énergie et de la pollution. À l'inverse, elle peut être considérée comme un facteur de croissance économique, dans la mesure où elle fournit une plus grande opportunité d'emplois et d'échanges.

Sans vouloir trancher entre ces deux tendances, on peut constater que ces contradictions sont moins flagrantes en ce qui concerne la mobilité périurbaine en transversal (rocade). De plus on observe une croissance du trafic de 2.8 % par an dans ces zones, et les déplacements se font de plus en plus loin entre banlieues. Ces tendances sont considérées comme fortes, et devraient durer pendant la période des 10 à 20 ans à venir, si rien n'est fait pour les modifier.

Nous considérons donc que l'amélioration de la mobilité périurbaine en liaison de rocade, est un objectif important.

Pour cela, on dispose de deux options :

- le report des déplacements vers les moyens de transports collectifs (TC) lourds existants et à venir, entraînant une réduction significative du trafic,
- l'amélioration du temps de trajet sur le réseau routier.

On traitera de la solution par le report des déplacements vers les TC lourds dans le scénario D1.

En ce qui concerne l'amélioration du temps de trajet sur le réseau routier, on dispose de deux solutions :

- l'augmentation de la capacité des voies, par création de nouvelles infrastructures ou par l'augmentation du débit des voies existantes en automatisant la conduite sur les voies,
- l'amélioration de la fluidité du trafic sur les infrastructures existantes, avec possibilité de « réglage » du débit des voies.

Toutefois l'augmentation de la capacité des voies par la construction de voies nouvelles peut conduire à des effets néfastes tels que :

- le report des déplacements des transports collectifs vers la route, conduisant de nouveau à la congestion,
- la création de nouveaux points de congestion qu'il faudra traiter,
- le coût,
- l'occupation de l'espace urbain,
- la création de nouveaux besoins de transport par l'ouverture à l'urbanisation de nouveaux secteurs.

Comme pour la création de voies nouvelles, l'augmentation de la capacité des voies, par l'automatisation, pourrait être néfaste en terme de congestion pour le réseau non automatisé connexe, et donc réduire l'efficacité globale du système.

En conséquence, dans l'utilisation de la route automatisée pour réduire l'impact de la congestion sur le temps de trajet, nous proposons que la route automatisée soit utilisée pour fluidifier le trafic, en conservant le débit nominal de la voie, tout au moins dans un premier temps. La fluidification devrait avoir pour effet une diminution importante du temps de trajet, une amélioration de sa prédictibilité, une diminution de la pollution.

Ultérieurement l'augmentation de la capacité des voies pourra être examinée, tout en restant un paramètre de réglage du système, laissé à l'appréciation des autorités.

Le système doit donc permettre la fluidification, tout en améliorant de manière très significative le temps de trajet, même à débit constant de la voie.

Nous retenons comme scénario prioritaire, l'amélioration de la durée de temps de trajet en rocade entre zones périurbaine, avec la capacité des voies comme paramètre de réglage pour limiter les effets pervers.

Ce scénario de rocade devra être suffisamment éloigné du centre compte tenu de la meilleure performance économique et sociale des transports publics dans les zones les plus denses et du coût très élevé de l'espace dans ces secteurs (espace qui risque d'être nécessaire en quantité importante pour l'organisation des accès au système).

## 2.4. scénario D : navettes automatisées en sites urbains

### 2.4.1. rabattement vers les moyens de transports collectifs lourds

Une solution pour diminuer la congestion consiste à améliorer le report des déplacements vers les transports collectifs lourds.

Dans les banlieues le nombre de véhicules par famille est supérieur à celui observé en milieu urbain. Une des raisons est le manque d'accès à des transports collectifs avec une bonne qualité de service.

L'incitation à la réduction du parc d'automobiles par une meilleure accessibilité aux moyens de transport collectifs lourds, pourrait également avoir pour conséquences :

- la diminution de la pollution locale,
- la diminution de l'espace urbain occupé.

*La route automatisée serait un élément qui favorise ce report des déplacements vers les TC lourds dont elle élargirait l'aire d'influence, et est de ce fait retenu comme un scénario d'étude en périurbain.*

Notons que pour être incitatif, le service offert aux usagers des transports collectifs devrait être d'une qualité de service au moins équivalente à celle de la voiture individuelle.

L'objectif de la route automatisée dans ce contexte est donc de réaliser rapidement et facilement le trajet entre une gare et la destination finale (ou origine) : domicile, commerce, travail, sur des distances de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres dans un environnement périurbain.

L'objectif principal est donc de favoriser l'usage des transports collectifs en évitant la nécessité de posséder son propre véhicule. Pour des trajets locaux, ce scénario permettrait d'offrir un

service de qualité équivalente, voire supérieure à la voiture privée en terme de simplicité de conduite et de facilité de parking. De plus, une bonne conception du véhicule public devrait permettre de limiter les nuisances (petite taille, limitation des pollutions diverses). Si ce service était disponible en de nombreux pôles en périphérie des villes, on pourrait alors envisager de les relier par des transports collectifs (ou les routes automatisées du scénario C) ce qui résoudrait en partie le problème des trajets de banlieue à banlieue.

Les techniques de libre-service comme celles expérimentées dans Praxitèle ou les Station Cars aux USA, associées à des techniques de déplacement automatique des véhicules semblent offrir des perspectives attrayantes pour répondre à ces objectifs. Le problème principal concerne le partage de la voirie avec des véhicules traditionnels. Pour résoudre ce problème, on peut envisager des véhicules dits « bi-modes » c'est-à-dire en conduite manuelle (éventuellement assistée) sur une part importante de la voirie, et en mode automatique sur certains trajets.

Parmi les solutions techniques possibles, le programme hollandais « Parc Shuttle », conduit par la société FROG, constitue une approche originale. Il est constitué de véhicules automatisés circulant à base vitesse sur des voies un peu protégées et collectant les passagers. Le guidage latéral de la navette se fait par des transpondeurs placés dans le sol. Cette solution présente une certaine flexibilité car les transpondeurs peuvent échanger des messages avec la navette.



Figure 2. – Le prototype du Parc Shuttle construit par Frog.

### 2.4.2. mobilité en Hyper Centre

La situation particulière des centres villes, résulte de l'amoncellement des contraintes de circulation en milieu urbain dense, ainsi que de l'insécurité routière dans ces zones.

En effet, les politiques de déplacements urbains sont de plus en plus contraignantes. Les contraintes extérieures au système de

transport sont l'environnement et le cadre de vie, la cohésion sociale et l'accès aux services urbains, le développement économique.

Par ailleurs, rappelons que les villes sont dangereuses. Près des trois quarts des accidents de la circulation ont lieu en agglomération, occasionnant deux tiers des victimes de la route et le tiers du nombre total des tués. Les piétons y sont particulièrement vulnérables : deux tiers des accidents les impliquant ont lieu sur les territoires urbains.

Il est donc important de travailler sur le milieu urbain, avec une optique d'amélioration de la qualité de vie.

Des petits véhicules conçus spécifiquement pour un usage en centre urbain pourraient bénéficier des techniques de la route automatisée et apporter un élément de solution aux problèmes de l'encombrement des hyper centres par les voitures traditionnelles sans sacrifier à la mobilité. Dans ce scénario, l'hyper centre serait réservé à ces véhicules qui seraient bien entendu conçus pour apporter un bon service mais avec un minimum de nuisances (petite taille, faible vitesse, non polluant, peu dangereux, silencieux, *etc.*). Une complémentarité avec des transports en commun pourrait éventuellement être recherchée.

Les besoins à couvrir seraient tous les déplacements motorisés de personnes et de marchandises, favorables au développement économique dans une zone où l'on souhaite interdire ou fortement minimiser l'usage des véhicules traditionnels.

L'objectif principal est donc de couvrir tous ces besoins de déplacement tout en minimisant les nuisances, par :

- la réduction du nombre de véhicules et de leurs tailles,
- la réduction de l'emprise sur l'espace urbain des places de parking.

On peut distinguer deux sortes de population : les résidents qui utiliseraient ces véhicules pour leurs besoins à l'intérieur de la ville et pour atteindre les nœuds de transport en commun ou leur véhicule interurbain (en location ou en parking de périphérie), et les visiteurs qui viendraient en transport en commun ou avec leur véhicule et qui dans ce cas l'abandonneraient dans des parcs relais en périphérie de la ville à moins que leur propre véhicule soit équipé et autorisé pour pénétrer en hyper centre.

Les véhicules autorisés seraient à priori en libre-service mais il est envisageable de donner des autorisations à des véhicules privés de même type qui seraient alors soumis à des contrôles d'accès pour limiter la congestion du stationnement. Le libre-service a pour avantage principal de réduire les besoins en parking, chaque véhicule étant petit et étant partagé entre de nombreux utilisateurs.

Les techniques de la conduite automatique permettent d'envisager le parking automatique qui est d'autant plus performant que les véhicules sont banalisés (il n'est pas nécessaire d'avoir accès directement à chaque véhicule garé). Ceci en soi permet de libérer l'espace urbain de surface pour les piétons, les véhicules pouvant facilement aller se garer en sous-sol ou dans des zones sans intérêt pour les visiteurs ou les résidents. Le second avan-

tage de la conduite automatisée est de déplacer les véhicules publics à la demande et donc de limiter leur nombre tout en ayant un bon niveau de disponibilité. On peut en effet supposer que ces véhicules puissent se déplacer sur des voies qui leur seraient réservées (et qui passeraient presque partout) mais de plain-pied à des vitesses de l'ordre de 5 mètres par seconde. Ceci correspondrait à des attentes de une à deux minutes pour des déplacements de l'ordre de 500 m.

Une solution possible pourrait être développée à partir du prototype Cybcar de l'INRIA.



Figure 3. – Le cybcar développé par l'INRIA.

### 3. conclusion

Les techniques relevant de l'assistance et de l'automatisation de la conduite constitue un ensemble de nouvelles possibilités d'amélioration des circulations. Les bénéfices à attendre sont compatibles avec les attentes en matière d'améliorations des conditions de déplacement pour les 20 à 30 prochaines années.

Les fonctions d'assistance constitue une voie progressive qui mène à terme vers la Route automatisée. Il faut cependant dès maintenant envisager des fonctions qui s'appuient sur une communication avec l'infrastructure ou une communication véhicule-véhicule, toutes fonctions qui impliquent une certaine réticence de la part des constructeurs automobiles.

Pour la Route automatisée, l'approche par scénarios semble être une bonne manière d'établir une stratégie permettant d'investir les applications de manière progressive en ciblant d'abord sur les scénarios présentant de moindres difficultés.

## BIBLIOGRAPHIE

- « *La Route Automatisée, réflexions sur un mode de transport du futur* » 1996. Ouvrage de synthèse INRETS, INRIA, ENSMP, ENPC éditée par l'INRIA.
- La Route Automatisée : un scénario préurbain. Ouvrage collectif publié en mai 2001 par le LCPC n° 59023301.
- Contribution à la Route Automatisée . Thèse de Ling Ling WU soutenue le 28 mai 1999 à l'École des Ponts et Chaussées.
- « *AHS Scenarios tailored for the mobility and the networks of the French context* » 4th world ITS conference, Séoul, Nov 1998.
- « Les recherches sur l'assistance et l'automatisation de la conduite », J.M. Blosseville, D. Aubert, S. Mammari, Revue ATEC N°141, mars 1997.
- « Scénarios pour la route automatisée », JM. Blosseville, C. Lurgeau et coll. Second Carrefour du Predit, Lille, mars 1999.
- « Automated vehicles in Cities , a first step toward the automated highway » M. Parent, J.M. Blosseville, Futur Transportation Tecgnology Conference, Costa Mesa, Californie, Août 11-13 1998.
- « Semi-automated vehicles : The transportation of the future », World Conference on Transport Research Anvers, juillet 1998.

*Manuscrit reçu le 23 janvier 2001*

## L'AUTEUR

Claude LAURGEAU



Claude LAURGEAU est professeur à l'École des Mines de Paris et directeur du Centre de Robotique qu'il a créé et développé depuis douze ans. Ce laboratoire conduit des travaux sur des thèmes techniques avancées comme la réalité virtuelle et augmentée, l'imagerie et la robotique médicale, la modélisation géométrique automatique, les systèmes de transports intelligents. Le groupe systèmes de transports intelligents a notamment développé un atelier logiciel pour le prototypage de systèmes embarqués temps réel et réalisé des démonstrations innovants comme la signalétique embarquée, la détection d'obstacles par fusion de données radar – vision, la prévention des risques par la navigation...