

Des transports routiers intelligents

Nouveaux services, nouveaux métiers

Charles Parey– Georges Philippe

Les ITS¹ ou systèmes intelligents de transport couvrent l'ensemble des modes de transport urbains et interurbains ; néanmoins, les points qui vont suivre se référeront le plus souvent à la route et à la circulation automobile.

Il y a plusieurs raisons à cela :

- le domaine des transports est extrêmement vaste ; si l'on voulait traiter tous les modes et leurs interfaces, le cadre de cet article n'aurait permis qu'un survol un peu superficiel ;
- les transports aériens et ferroviaires ont une tradition déjà ancienne dans ce domaine, et l'évolution se réalise de façon presque naturelle, encadrée par des règlements ou des accords internationaux ;
- enfin, le domaine routier est une conquête récente des NTIC et l'évolution technologique devient visible par le grand public.

1. On rencontrera fréquemment les termes « intelligents », « systèmes intelligents » ou ITS (*Intelligent Transportation Systems*) : cela signifie seulement que les systèmes associent des moyens de traitement et de stockage de l'information, et des moyens de transmission entre les utilisateurs. En Europe, on parle souvent de télématique (télécommunication et informatique), télématique routière ou télématique transport.

Nous avons donc privilégié cet aspect en essayant de passer en revue les principales technologies bénéficiant du numérique que nous avons regroupées en cinq rubriques :

- télécommunications,
- recueil et traitement des données,
- modélisation et simulation,
- localisation des mobiles et navigation,
- billettique-monétique.

Nous donnerons quelques exemples d'applications au fonctionnement des transports et aux activités humaines concernées. Nous commencerons par quelques rappels sur les techniques d'exploitation des divers modes de transport et la liste des principaux types de services développés.

Généralités

Quel que soit le mode de transport de personnes considéré, la mobilité n'a jamais été aussi élevée sur des distances aussi bien intercontinentales que périurbaines. De même, le développement et la mondialisation de l'économie conduisent à un accroissement spectaculaire des flux de marchandises.

Mais le phénomène le plus marquant, bien qu'invisible pour les usagers, concerne la quantité toujours croissante de données qui accompagnent aussi bien les voyageurs que les marchandises et qui sont de plus intégrées dans les systèmes d'exploitation des diverses infrastructures.

Les progrès des télécommunications et la miniaturisation des moyens de traitement de l'information, dont le prix baisse au fur et à mesure que leur puissance augmente, conduisent à embarquer dans les divers mobiles (les véhicules) de plus en plus d'électronique et d'informatique. On pourrait ainsi caricaturer l'évolution actuelle en disant que ces mobiles sont devenus des réseaux locaux munis d'une motorisation et de moyens de sustentation et de propulsion (roues, ailes...), qui se déplacent sur des infrastructures physiques doublées de moyens toujours plus performants de télécommunications et de traitement de l'information, les mobiles et les infrastructures ne cessant d'échanger des données.

Bien évidemment, ces échanges et ces traitements se font sous forme numérique, même s'il reste ça et là quelques poches de résistance d'électronique analogique.

Les besoins d'identification, de guidage, de sécurité et de paiement des services dans les transports sont probablement nés en même temps que les véhicules. Le péage routier existait sous Tiglath-Pileser en 1450 av. J.-C. et la police du roulage en France, l'ancêtre du Code de la route, en l'an 10 de la République, imposait une plaque d'immatriculation aux charrettes. Les premiers panneaux de signalisation routière de direction datent aussi de ce début du XIX^e siècle. Nous en sommes maintenant à l'équipement du réseau (auto)routier en fibres optiques et en réseaux de recueil de données et d'information des usagers, et d'introduction de terminaux de navigation dans les véhicules.

De même, dès le début des chemins de fer, on s'est préoccupé de sécurité et d'échange de données entre les mobiles et le sol, par exemple par échanges de télégrammes entre trains et gares et entre trains à partir de 1855. Notamment, la sécurité des chemins de fer a été « intrinsèque » jusqu'à une période récente. On pourrait même la qualifier de binaire, puisqu'il ne devait y avoir que deux positions possibles : un signal (ou une aiguille) ne pouvait être qu'ouvert ou fermé, un train sur une voie unique avait le bâton pilote et il passait, ou il ne l'avait pas et ne démarrait pas. On savait même combiner dans des ensembles strictement mécaniques plusieurs situations binaires dans des systèmes logiques (les enclenchements), et maintenant, seuls les plus anciens retraités peuvent se souvenir des serrures Bourré.

Ces techniques ont ensuite cédé la place à des systèmes électromécaniques à base de relais, toujours caractérisés par une base binaire. L'entrée des processeurs informatiques s'est faite de manière prudente, le cas échéant avec des matériels très spécifiques : une énorme révolution silencieuse a été accomplie à la fois dans les techniques et dans les esprits : le passage d'une sécurité intrinsèque (tout ou rien) à une sécurité probabiliste garantie par le logiciel a été une sorte de révolution dans les mentalités.

Il reste néanmoins un long chemin à parcourir : ne dit-on pas encore de nos jours que nul ne sait avec précision où se trouve un train dès qu'il a quitté une gare et que le seul moyen de vérifier qu'aucune partie ne manque est de s'assurer de la présence de la lanterne rouge placée en queue de train.

Le transport aérien commercial connaissait, pratiquement depuis ses débuts, une régulation par un système de contrôle au sol et les avions ont embarqué très tôt des moyens radio. La radiogoniométrie, en ces temps déjà lointains, a connu là de très beaux jours. Les radars de diverses sortes, l'organisation et l'informatisation des centres de contrôle et l'évolution de l'avionique ont maintenant placé le transport aérien en tête de l'évolution technologique, puisque l'on peut effectuer des vols entièrement

automatiques de bout de piste en bout de piste. Les transports aériens se placent également en tête de la sécurité rapportée au nombre de passagers-kilomètres.

La navigation maritime est maintenant aussi tributaire de moyens de communication, de localisation, de systèmes de contrôle et de commande des navires et de gestion des cargaisons qui font tous appel à des technologies numériques.

On voit donc que tous les modes de transport sont envahis par des puces électroniques selon des schémas qui ont des airs de parenté. Il faut néanmoins se garder de généralisations trop abusives, car trois facteurs différencient fortement les modes :

- le nombre de mobiles concernés : la circulation routière doit prendre en compte des dizaines de millions d'utilisateurs anonymes, la navigation aérienne seulement quelques milliers bien identifiés ;

- le degré de professionnalisme des « responsables » du comportement des mobiles ; le conducteur du dimanche n'a pas beaucoup de points communs avec le commandant de bord d'un 747-400 ;

- le prix acceptable des équipements : il peut y avoir un écart de deux puissances de dix entre les possibilités aéronautiques et l'automobile, même haut de gamme. Ceci se traduit souvent d'ailleurs par un écart dans les délais de mise en œuvre, le temps pour les prix des nouvelles technologies de baisser pour atteindre le niveau acceptable par l'économie du mode concerné.

Il faut donc faire preuve de réalisme et de patience. Dans le domaine des transports, il est assez courant d'observer des délais de l'ordre d'une dizaine d'années entre le moment où la faisabilité technique et économique d'une innovation est prouvée et celui où celle-ci débouche réellement à grande échelle. Là aussi, la durée de vie des équipements et le poids du passé contribuent à former des constantes de temps de cet ordre.

Les nouveaux services

Les produits ITS sont bien évidemment destinés à offrir des services aux conducteurs et usagers, ainsi qu'aux exploitants d'infrastructures. L'International Standardisation Organisation (ISO) a ainsi répertorié la liste suivante de 32 services dans les domaines de l'information transport et des systèmes de contrôle.

Information des voyageurs	Information avant le voyage Information du conducteur pendant le voyage Information de l'usager des transports publics pendant le déplacement Services individualisés d'informations Navigation et guidage
Gestion de trafic	Planification des transports Gestion de la circulation Gestion des incidents Surveillance, répression des infractions Gestion de l'entretien des infrastructures Amélioration de la vision
Véhicules	Amélioration de la vision Automatisation de la conduite Anti-collision frontale Anti-collision latérale Dispositifs de sécurité passive Déploiement de dispositifs de sécurité avant «crash »
Véhicules de transport de marchandises	Pré-contrôle des véhicules commerciaux Processus administratifs relatifs aux transports de marchandises Inspection automatique de la sécurité Gestion des chargements
Transports publics	Gestion des transports publics Transports à la demande Gestion des moyens de transports partagés
Urgences	Alerte et sécurité des personnes Gestion des véhicules d'intervention Matières dangereuses et gestion des incidents
Paiement électronique	Transactions financières électroniques
Sécurité	Sécurité du transport public Sécurité des usagers vulnérables Interfaces et correspondances intelligentes

Tableau 1. Services répertoriés par l'ISO

De tels services commencent à être opérationnels et perceptibles dans la vie courante. Sans vouloir dresser un catalogue exhaustif, on peut citer quelques exemples significatifs :

– l'information des usagers des transports publics, connaît un développement notable avec les affichages des temps d'attente aux stations

et une meilleure régulation, grâce à la localisation précise et permanente des véhicules qui participe également à la mise en sécurité des zones à risques ;

– le paiement électronique sans contact des péages autoroutiers (réalisations de Singapour, Toronto et Melbourne, Telepass en Italie, mise en place du télépéage intersociétés, TIS, en France) ou des transports publics (expérimentations de télébilletique) utilise des développements avancés de transmission courte portée et de miniaturisation des composants ;

– les équipements à bord des véhicules automobiles en moyens de navigation, de localisation et d'information, qui se comptent en millions d'unités au Japon, commencent à se faire remarquer en Europe sur une part significative des véhicules moyen et haut de gamme. Le bon usage de ces équipements implique le fonctionnement cohérent et synchrone des trois composantes, véhicule, route et communications, ce que les japonais anglophones appellent *smart cars*, *smartways* et *smart gateways*. En France, les équipements de la route, notamment pour le recueil des données de circulation et de météorologie, ont fait l'objet d'investissements importants des pouvoirs publics et des sociétés d'autoroutes : les résultats sont visibles sur l'internet, qu'il s'agisse des informations sur les conditions de circulation en région Ile-de-France ou sur les temps de parcours sur autoroute. Il est même possible de voir des images vidéo en temps réel de certains points du réseau autoroutier.

Tous ces services sont supportés par la combinaison de technologies de base, essentiellement numériques décrites ci-après.

Les télécommunications

Les réseaux de télécommunications se développent à grande allure ; ils peuvent être spécifiques ou locaux – les LAN, *Local Area Network* – ou étendus – les WAN, *Wide Area Network* –, voire être à l'échelle de la planète, véhiculant toujours plus de données par l'internet notamment. Différents types de média sont utilisés, reliés à des centres serveurs disposant de systèmes de gestion de base de données. L'ensemble de ces moyens permet la communication entre exploitants et usagers, usagers simples, conducteurs de véhicules particuliers ou professionnels des transports routiers ou guidés, pour améliorer les conditions de circulation, la convivialité et la sécurité des différents modes de transport. L'utilisateur de l'autoroute, les conducteurs de bus, de métro ou de TGV, ne sont plus isolés, mais peuvent désormais compter sur le gestionnaire du système dont les responsabilités dépassent largement le domaine de l'entretien et la maintenance de l'infrastructure.

La radiodiffusion

Les techniques de radiodiffusion constituent un lien unidirectionnel (*downlink*) entre l'infrastructure et les véhicules et peuvent faire parvenir la même information à un grand nombre de récepteurs.

Les autoradios sont depuis bien longtemps un élément central de la planche de bord des voitures et l'utilisation de la bande FM avait notablement augmenté la qualité de réception par rapport aux ondes longues et moyennes des années 1960.

Un premier pas dans la numérisation a été réalisé par le standard RDS (*Radio Data System*), principalement utilisé pour l'affichage des stations et le confort d'écoute (suivi d'une station). L'utilisation astucieuse d'une sous-porteuse et sa discrétisation ont permis de faire entrer les premières informations digitales dans l'habitacle des véhicules, avec des débits utiles encore faibles d'environ 100 bits/seconde. Des fonctions spécifiques TA (*Traffic Announcement*), TP (*Traffic Program*), puis TMC (*Traffic Message Channel*) sont réservées ou coopèrent à la diffusion d'informations routières.

La mise en place du RDS-TMC est laborieuse : le principe en est très séduisant puisque les messages entrent sous forme numérique à bord des véhicules et peuvent être décodés dans la langue du conducteur moyennant l'établissement d'un thésaurus international et d'un système universel de description de la localisation. D'importants travaux de normalisation ont été entrepris au niveau européen et ont donné naissance à des standards. Toutefois, on en est toujours au stade du pré-développement et il n'est pas évident de trouver dans le commerce un autoradio muni de la fonction TMC, alors que le concept est défini depuis près de 15 ans. Néanmoins, le projet européen Serti coordonne les efforts de plusieurs pays pour mettre au point une diffusion RDS-TMC coordonnée. Mais la commercialisation en grande masse du RDS-TMC pourrait être battue en brèche par la radiodiffusion numérique terrestre ou satellitaire (DAB, *Digital Audio Broadcasting*). Par rapport à la FM analogique, le DAB offre un très grand nombre de canaux, des débits de transmission impressionnants – on peut envisager de transmettre la cartographie d'une zone en même temps que les informations de trafic – et une qualité de transmission sans précédent.

Les récepteurs sont encore onéreux et encombrants et les émissions relativement peu nombreuses, pourtant les constructeurs d'autoradios semblent engager des efforts commerciaux plus importants pour le DAB que pour RDS-TMC. On peut penser que les dispositions de standardisation des données et d'organisation de leur recueil élaborées en vue de diffusions RDS-TMC pourraient être réutilisées pour des émissions DAB d'informations routières.

Le changement de génération entre matériels totalement incompatibles devra sans doute s'étaler sur une longue période, au moins la durée de vie moyenne du parc automobile, soit une dizaine d'années, pendant laquelle les deux systèmes de diffusion devront coexister.

Les sociétés d'autoroute en France possèdent des services de radiodiffusion qui permettent l'information des automobilistes se trouvant dans la zone d'exploitation de l'autoroute en utilisant la fréquence unique de 107.7, système dit isofréquence. C'est un nouveau métier de communications et d'informations spécialisées orienté vers la sécurité et l'agrément de conduite.

Les systèmes bidirectionnels

Le radiotéléphone cellulaire

C'est un produit fondamental pour l'ITS, qui a connu dernièrement une expansion absolument spectaculaire, due à une double évolution : le passage de l'analogique au numérique couplé à la transformation du matériel embarqué en équipement portable.

Il y a encore dix ans, installer un Radiocom 2000 dans une voiture était une opération assez onéreuse, l'émetteur étant relégué dans un coin du coffre ; c'était d'une certaine façon un luxe réservé aux possesseurs de véhicules haut de gamme et aux dirigeants d'entreprises.

L'apparition de la norme GSM (*Global System for Mobile Communications*), la couverture de l'Europe et d'une grande partie du monde, la production des équipements en grande série et l'ouverture des réseaux et des services à la concurrence a fait passer en quelques années le nombre d'abonnés des mobiles en France de quelques dizaines de milliers à plusieurs dizaines de millions.

Au-delà de l'usage classique de liaison point à point entre deux abonnés, le portable GSM est le support de nombreux services concernant, notamment dans le domaine de la circulation automobile, l'appel d'urgence ou les informations météorologiques ou routières.

La liaison internet obtenue à partir d'un portable GSM (WAP) est en cours de diffusion, pour des applications pour le moment peu liées au transport ou à la circulation en temps réel. Les générations du futur immédiat, GPRS et surtout UMTS, d'un débit nettement plus élevé, seront sans doute les supports d'applications beaucoup plus performantes.

Les systèmes de télécommunication connaissent une évolution rapide et les générations à venir sont en cours de préparation avec encore des

changements d'ordre de grandeur dans les débits disponibles et dans la diversification des services potentiels. Dans plusieurs pays d'Europe, aux Etats-Unis et au Japon, des kiosques (Call Centers) fournissent un ensemble de services. Ils assurent par téléphone mobile des fonctions d'appel d'urgence, de navigation-guidage, d'information, de demande de dépannage, etc., les messages étant traités soit automatiquement soit par des opérateurs.

Les liaisons courte portée

Développées d'abord pour le télépéage et le guidage urbain centralisé, les liaisons courtes portées, DSRC (*Dedicated Short Range Communications*), permettent des échanges de données à très haut débit, pouvant atteindre le gigabit/seconde, sur des portées décamétriques. Deux médias sont utilisés : les radiofréquences et les infrarouges.

Les Etats-Unis, le Japon et l'Europe ont standardisé, ou sont sur le point de le faire, des systèmes non directement interopérables. Les Etats-Unis utilisent des fréquences dans la bande des 900 Mhz, normalement réservée en Europe au GSM, mais envisagent une migration dans la bande hyperfréquence des 5.9 GHz. L'Europe et le Japon préparent des normes dans une bande voisine de 5.8 GHz, mais divergent notamment sur la largeur de bande, les débits et un certain nombre d'autres caractéristiques. De ce fait, la standardisation internationale ne pourra harmoniser que les couches les plus hautes de l'architecture DSRC. Certains pays se sont ralliés à l'une ou l'autre norme, par exemple l'Australie à la norme européenne. D'autres semblent attendre d'y voir plus clair dans les différentes controverses technico-commerciales.

Le Japon, dans le cadre de VICS (*Vehicule Infrastructure Communication System*) qui alimente en informations de trafic plus de 1,6 million d'abonnés, utilise simultanément des liaisons hyperfréquence en rase campagne et infrarouge en ville, les véhicules étant, le cas échéant, équipés des deux modes de réception.

Les potentialités des liaisons DSRC sont importantes : elles sont à la base de toutes les réalisations actuelles de télépéage (paiement du péage sans arrêt). Mais leur utilisation comme support d'informations routières localisées sur autoroute avec un retour d'information venant des véhicules est pleine de promesses : le projet Aïda en France et le projet européen Delta explorent les potentialités du DSRC et des services qu'il peut supporter ; il en est de même pour le suivi de véhicules traceurs pour déterminer en temps réel les temps de parcours et l'actualisation des matrices origine-destination, comme cela est effectué à Houston ou à Melbourne, par exemple. Certains

commencent à parler d'un bouquet de services sur le DSRC et l'on pourrait imaginer à moyen terme la généralisation de l'identification automatique des véhicules à l'aide d'une plaque d'immatriculation électronique.

Des tentatives se font jour pour utiliser des fréquences libres d'accès dans d'autres bandes et mettre en place des liaisons que l'on pourrait qualifier de *medium range* avec des portées kilométriques, dont les objectifs sont essentiellement, pour le moment, orientés vers l'alerte rapide des conducteurs en cas d'incident sur leur itinéraire.

Les réseaux fixes

Les fibres optiques ont fait en quelques années une entrée en force le long des infrastructures routières et également ferroviaires, comme aussi le long des canaux et des oléoducs. Compte tenu des débits très importants qu'elles peuvent supporter, alors que leur capacité intrinsèque s'accroît de façon continue, la transmission à longue distance des données et des images ne pose ainsi pas plus de problèmes que celle de la voix.

La multiplication des opérateurs de télécommunication a accéléré ce processus en incitant les exploitants d'infrastructures à louer des fibres, posées lors de la construction de leur propre réseau. On aurait pu penser que la capacité installée serait excédentaire, mais il n'en est rien, car la demande ne semble pas se ralentir pour le moment.

Pratiquement toutes les données liées à l'exploitation des autoroutes concédées transitent maintenant sur des réseaux de fibres optiques et les protocoles d'échanges de données entre les centres de trafic sont en cours de standardisation.

Les progrès des télécommunications par câblage et GSM permettent le développement de centres d'appels (*Call Centers*) où peuvent être stockés des fichiers géants de clients, gérés efficacement par la technique des *data mining* qui permet d'afficher instantanément les caractéristiques d'un client qui, par exemple, appelle pour s'informer d'un itinéraire. Ces technologies alliées aux capteurs, ont permis la constitution de TMC (*Traffic Management Centers*) géants dont les missions diffèrent peu, quels que soient les villes ou pays concernés.

A Paris, le PC de Sirius reçoit l'ensemble des données recueillies sur les voies rapides, en assure le traitement en vue d'une part de la diffusion d'informations par panneaux à messages variables (PMV), et d'autre part pour la détection automatique d'incidents (DAI) et le contrôle d'accès autoroutier. Aux Etats-Unis on a concentré les applications à la DAI et à la gestion des accès d'autoroutes. Les systèmes de gestion centralisée des feux

de carrefours urbains tels que Claire à Paris, Scats à Sydney ou Scoot en Grande-Bretagne améliorent la fluidité de la circulation et permettent des interventions rapides en cas d'incidents.

Les grands centres de gestion de trafic ne sont pas seulement le lieu de concentration de matériels sophistiqués et de données, ils rassemblent également des moyens en personnels qui réalisent en *back office* des travaux d'études et de recherche dans le but d'applications et de fonctions nouvelles. Par exemple, la mise au point des calculs de temps de parcours sur voie rapide en région parisienne (Sirius), la gestion centralisée des priorités aux bus (Scats), les « ondes vertes » à la demande, la simulation de nouvelles stratégies à partir des archivages accessibles de données, etc.

Le recueil et le traitement des données

Le recueil des données est une étape indispensable pour l'organisation et la gestion des trafics. Il est effectué par des capteurs classiques du type capteurs de trafic à boucle et par des caméras vidéo et le traitement d'images. D'autres types de capteurs à ultrason, infrarouge, à effet Doppler, hyperfréquences, etc., sont utilisés dans divers pays. Plus récemment, on utilise également pour le recueil de données des véhicules dits « traceurs » disposant d'un système de localisation-navigation et d'un lien hertzien avec un centre de gestion de trafics ou d'informations.

Toutefois, l'évolution majeure est liée à l'introduction massive de la télévision sur les sites urbains et autoroutiers. Cette évolution récente concerne à la fois la technologie des caméras et de l'éclairage associé et les moyens de traitement des images. Les caméras, elles aussi, deviennent numériques et intelligentes ; leur miniaturisation a déjà fait de grands progrès, et l'apparition des *Web-cam* devrait contribuer à une baisse des coûts. Plusieurs axes peuvent encore accroître leurs performances :

- les éléments sensibles à base de technologies C-MOS ;
- l'accroissement de la sensibilité dans le proche infrarouge, associée à un éclairage stroboscopique dans la même longueur d'onde, ce qui facilite par exemple la lecture de numéros minéralogiques en toutes circonstances ;
- les obturateurs à fermeture progressive éliminant les phénomènes d'éblouissement.

Mais les circuits fermés de télévision (CCTV) deviennent de plus en plus intelligents grâce à des logiciels associés d'analyse d'images. On sait ainsi maintenant :

- réaliser une lecture automatique de plaques minéralogiques (ou de numéros de conteneurs), à l'aide de logiciels performants avec des taux de

réussite dépassant 90 % : la transmission par fibres optiques des images non lues à un central permet de faire lever les ambiguïtés par des opérateurs, notamment lorsqu'il s'agit de fraude au péage ou de constat d'infractions. Cela pourra également faciliter les enquêtes de circulation en automatisant la majeure partie de la tâche ;

- détecter automatiquement les incidents sur autoroute, y compris les piétons sur la bande d'arrêt d'urgence. Et ceci de façon très supérieure à celle basée sur les capteurs de trafic à boucle, grâce au gain de vitesse de détection, de précision, de liberté d'implantation grâce à la transmission herztienne ;

- utiliser la vidéo comme capteur de trafic donnant les débits, vitesses, taux d'occupation et longueur de queues, le tout étant intégrable dans une régulation de carrefour (carrefour intelligent) ;

- dans un futur proche, utiliser des réseaux neuronaux et des logiciels d'apprentissage permettant d'identifier un véhicule déterminé dans un flux de circulation.

Bien évidemment, les images, éventuellement compressées, peuvent être acheminées à un PC *via* des fibres optiques.

Des progrès du même ordre sont à attendre des matériels embarqués sur les véhicules : le contrôle latéral peut par exemple être réalisé en asservissant la direction au suivi de l'image d'une ligne blanche.

Ainsi, on constate l'apparition d'emplois nouveaux dans les services d'exploitation des réseaux routiers et autoroutiers : comme on l'a vu, l'infrastructure routière se double maintenant de systèmes complexes de recueil, de transmission et de traitement de données et d'images. Sur certaines sections d'autoroutes, notamment périurbaines, la part d'investissement dans ces systèmes, qui auparavant se limitait à une ligne téléphonique et quelques postes d'appels d'urgence, dépasse parfois largement 10 %, entre les équipements vidéo, les capteurs de trafic et de météorologie, les fibres optiques, la radio isofréquence (107.7), le PC de circulation et les installations de péage.

La construction et la mise en place des installations font appel aux compétences d'entreprises spécialisées en courants faibles, en signalisation et en équipements de péage. Et c'est davantage sur la maintenance et l'exploitation des installations que la mutation est la plus sensible.

Une génération d'électroniciens de « bord de route » est en train d'apparaître pour la maintenance préventive et les dépannages d'installations variées, qui tendent à constituer des sous-ensembles gérés spécifiquement au sein des sociétés d'autoroutes. Ainsi certains de ces

techniciens sont affectés spécifiquement aux installations de péage et de télépéage.

Les opérateurs de PC routiers et autoroutiers constituent également une famille nouvelle : ils ont à gérer en temps réel le réseau (ou la portion de réseau) dont ils ont l'image sur leur synoptique, à l'aide des informations recueillies sur le terrain et, le cas échéant, de systèmes experts d'aide à la décision. Une fois mis en forme, les messages d'informations à destination des usagers sont transmis aux divers moyens de diffusion, qui vont des panneaux à messages variables aux sites internet, en passant par la radio ou les kiosques téléphoniques. Ces chaînes de gestion et de diffusion de l'information routière offrent des emplois de type nouveau pour les gestionnaires d'infrastructures, proches du journalisme radio.

La modélisation et la simulation

La simulation numérique est particulièrement intéressante dans la conception des matériels de transport. Elle permet de réduire au minimum des essais coûteux et destructeurs de matériels, car son utilisation plus souple et plus rapide permet d'optimiser le matériel avant l'ultime vérification par un test réel lorsque c'est nécessaire.

Il y a déjà bien longtemps que la CAO a fait irruption dans les bureaux d'études intervenant dans la conception des infrastructures de transports. Les pratiques les plus récentes ont accru de façon considérable la souplesse d'emploi et la rapidité des logiciels, permettant par exemple l'étude de multiples variantes et la recherche, sous contraintes multiples, des tracés les plus pertinents et les plus économiques. Le couplage avec des systèmes d'informations géographiques, tout du moins en amont des études, a aussi beaucoup contribué à cette évolution.

De même, l'ingénierie concurrente commence à s'installer, et il n'est pas rare maintenant, notamment pour des opérations à l'exportation, de voir plusieurs bureaux d'études situés sur des méridiens différents travailler simultanément sur le même projet. Comme les opérations financières, le projet fait le tour de la terre et ne s'arrête jamais. Des méthodes avancées de GED (Gestion électronique de documents) sont évidemment utilisées.

L'imagerie de synthèse interactive est d'un emploi également récent : le projet et le terrain naturel constituent des bases sur lesquelles peuvent se construire des images correspondant à un point de vue déterminé. Si les machines sont suffisamment rapides et puissantes, ce point de vue peut se déplacer, par exemple à la vitesse d'une voiture sur une autoroute, ou d'un hélicoptère tournant autour d'un ouvrage d'art. Les infographistes savent

donner un rendu très réaliste par l'emploi de la couleur et de la texture des images. A la différence de l'emploi artistique de l'imagerie de synthèse dans le cinéma, la géométrie doit être strictement respectée.

Le projet d'infrastructure peut alors être intégré dans le sous-ensemble « visualisation d'un simulateur de conduite automobile » et l'on peut ainsi conduire une voiture virtuelle sur une infrastructure à l'état de projet. Cette visualisation des projets se révèle très utile lors des phases de concertation publique ; chacun peut apprécier l'impact du projet de son propre point de vue ainsi que la cohérence technique du tracé et la lisibilité de la signalisation. L'aviation fait depuis longtemps usage de simulateurs de vol pour la formation des pilotes. Si la modélisation du comportement de l'avion est relativement plus complexe que celle d'une automobile, la visualisation du paysage extérieur est beaucoup plus sommaire, sauf dans la phase d'approche finale. La modélisation d'infrastructures terrestres a nécessité jusqu'à une époque récente les machines spécialisées les plus performantes ; les progrès des réseaux de micro-ordinateurs semblent pouvoir maintenant donner une plus grande extension à ces techniques de modélisation et de visualisation.

Les éléments géométriques du terrain et du projet constituent des bases de données directement intégrables dans les automatismes de conduite des engins de mise en œuvre des terrassements et des chaussées. En couplant ces données avec un positionnement GPS (DGPS), on aboutit à un guidage et à un mode de fonctionnement automatique qui pourraient être qualifiés de conception et fabrication assistée par ordinateur (CFAO) mobile.

De même, le recueil automatique de données des caractéristiques de chaussées et leur intégration dans des SIG évolués, aboutit à des systèmes de programmation de la maintenance (PMS) et des budgets afférents (HPMS). Des systèmes analogues existent bien sûr pour les voies ferrées et les installations aéroportuaires.

Ces techniques s'appliquent également à la modélisation des flux permettant de réaliser des prévisions de trafic à long ou à court terme et aux prévisions d'écoulement en cas d'incidents. Si les panneaux à messages variables de certaines infrastructures importantes affichent maintenant des temps de parcours très précis, c'est que le fonctionnement de ces infrastructures a été modélisé et que le recueil en temps réel des données pertinentes est opérationnel.

Localisation des mobiles et navigation

Le dictionnaire de spatiologie définit la localisation (ou positionnement) comme l'estimation en temps réel ou différé de la position d'un point, et la navigation comme l'estimation en temps réel de la position instantanée d'un mobile effectuée à bord de ce mobile.

Divers systèmes de positionnement existent : balises radio (système Mobiloc, basses fréquences), balises infrarouge et hyperfréquences, marquage de la voirie par étiquettes électroniques. On s'intéressera essentiellement aux systèmes de localisation et de navigation à partir de constellations de satellites tel le système GPS (*Global Positionning System*) dépendant du DoD et du DoT américains qui permet de nombreuses applications.

Positionnement et navigation par GPS

Des techniques de traitement du signal permettent de mesurer les distances entre des points à la surface de la terre et des satellites. A partir de ces techniques, le GPS permet de se positionner à tout instant et en tout point sur la terre à des précisions pouvant aller de 100 m jusqu'à 1 mm (pour les géodésiens). En transport, notamment urbain, la précision recherchée grâce au DGPS, est de l'ordre de 10 m.

Une galaxie de satellites munis d'horloges très précises tourne autour de la terre : le récepteur reçoit les *time-codes* d'au moins 3 satellites en vue directe et, recevant les temps des horloges et connaissant la trajectographie des satellites, calcule sa position par triangulation. La précision est d'autant meilleure que le nombre de satellites reçus est élevé. Les récepteurs haut de gamme ont jusqu'à 12 canaux de réception ; certains permettent également la réception des satellites russes Glonass et augmentent ainsi la fiabilité de la mesure avec le nombre de satellites captés.

Le GPS différentiel (DGPS) permet d'améliorer la précision dans les bonnes configurations, pratiquement d'un facteur 10, et les corrections peuvent être diffusées en temps réel par des systèmes de radio-messagerie. Il est maintenant possible de mettre en œuvre un récepteur de données GPS corrigées par des données différentielles avec un coût d'équipement et d'abonnement tout à fait supportables pour des besoins professionnels et permettant une précision submétrique. Les projets actuels cherchent à améliorer la précision et la disponibilité, et à mettre en œuvre un système plus performant et indépendant du département américain de la Défense : c'est l'un des buts du projet européen Galileo en cours d'étude.

Des applications nombreuses existent déjà, en particulier pour la gestion de flottes de bus, de camions, voire de conteneurs sur les aires de manutention portuaire. Dans le domaine des transports collectifs urbains, on peut citer les applications développées par la RATP à des fins d'information des voyageurs, d'exploitation et de sécurité. Le bus équipé d'un récepteur GPS calcule en permanence sa position ; ces informations sont envoyées par un réseau 3RD (Réseaux radioélectriques réservés aux données) à un serveur de radiolocalisation central. Celui-ci, après traitement informatique des informations reçues, génère des informations en direction des voyageurs ou, quand il s'agit d'alarmes, alerte la police ou le véhicule d'intervention le plus proche.

Des compagnies de taxis à Paris utilisent également le GPS pour gérer des flottes de plusieurs milliers de véhicules. Leur objectif est d'améliorer le service au client et de répartir plus efficacement et plus équitablement les courses aux chauffeurs. Elles peuvent ainsi constituer une base de données de temps de parcours qui leur permet d'optimiser les délais des taxis pour se rendre sur les lieux d'appels.

Certains grands groupes de transport routier de marchandises équipent une bonne partie de leur flotte de camions de moyens informatiques intégrant un récepteur GPS, un moyen de communication mobile pour transmission en temps réel, un ordinateur et une interface spécifique. Le camion devient ainsi un prolongement mobile de l'entreprise qui permet une information interactive en temps réel pour une exploitation optimale de l'ensemble de la flotte.

Cela ajouté aux développements des technologies du commerce électronique et de la logistique (échanges de données informatisées, réseaux à valeur ajoutée, internet, etc.) et à l'informatisation des documents de route, on imagine les transformations à venir du métier de chauffeur routier et des formations aux outils télématiques qui vont être indispensables pour les professions concernées.

Une société privée propose un service d'informations de trafic destinées aux entreprises et particuliers de la région parisienne. Elle utilise les données de trafic émanant, d'une part des gestionnaires publics de voirie (Ville de Paris, Etat...) et d'autre part, de la détermination des temps de parcours de véhicules « traceurs », taxis ou autres véhicules équipés. Un terminal portable ou embarqué qui permet à l'automobiliste de connaître l'état du trafic sur ses itinéraires est proposé aux clients.

Les Systèmes d'informations géographiques (SIG)

On peut retenir la définition du Comité de coordination inter-agences pour la cartographie numérique : un SIG est un « système informatique de matériels, de logiciels et de processus conçus pour permettre la collecte, la gestion, la manipulation, l'analyse, la modélisation et l'affichage de données à référence spatiale afin de résoudre des problèmes complexes d'aménagement et de gestion. »

Les SIG sont des bases de données structurées de façon à pouvoir en extraire rapidement des synthèses utiles à la décision. Ils constituent un domaine important d'étude et de recherche à l'Institut géographique national (IGN). Les domaines d'application des SIG sont très nombreux : agriculture, environnement, gestion urbaine, démographie, géologie, sociologie, etc. Pour les transports, on peut citer la gestion des réseaux routiers et la gestion de trafic : réfection des chaussées, impact du tracé d'une autoroute, gestion des accidents, suivi de flottes de véhicules (avec le GPS), calcul d'itinéraires, gestion de l'information routière.

Les bases de données SIG, compte tenu de la généralisation des mémoires amovibles de grande capacité grâce aux CD-ROM, peuvent être représentées sous forme de cartes routières numériques embarquées à bord des véhicules équipés de lecteurs appropriés.

On peut trouver dans le commerce pratiquement toutes les cartes routières du monde sous forme de CD, avec le cas échéant des informations complémentaires de type touristique. Elles constituent un élément de base des systèmes de navigation qui sont proposés sur le marché, et l'on peut considérer que les mises à jour et la précision des données s'amélioreront en même temps que les performances des systèmes de localisation.

La billettique et la monétique

La billettique est l'outil de gestion des contrats liant les producteurs de service de transport aux utilisateurs de ce service. Elle nécessite la mise en œuvre d'un ensemble complexe d'opérations comprenant l'émission de titres de transport, la validation et le contrôle de ces titres, et les traitements à des fins de gestion et de statistiques par les prestataires des services. L'innovation aujourd'hui en matière de billettique tient dans l'utilisation de la carte à mémoire comme titre de transport et à l'utilisation de transmissions sans contact (télébillettique) soit par induction magnétique, soit par radiofréquence, hyperfréquence ou infrarouge.

Plusieurs voies sont ouvertes et les solutions dépendent beaucoup du temps accordé à la réalisation de la transaction. On voit apparaître de nombreuses applications de cartes sans contact dans le domaine des transports avec des systèmes de transmission par induction à faible débit et à portée décimétrique ou des cartes bimode susceptibles d'être intégrées dans un lecteur-émetteur à haut débit.

Parallèlement, le PME (porte-monnaie électronique) est en train de voir le jour, et il s'agit typiquement dans ce cas de questions d'organisation et non uniquement de technologies. Il devrait rendre les transactions de transport qui sont généralement d'un montant relativement faible, plus rapides et plus fiables.

On pourrait théoriquement, et techniquement, imaginer une carte à puce multiservice à mémoire partagée supportant simultanément la clé de contact, la carte grise, le permis de conduire, un PME, une carte transport, un moyen de paiement de télépéage, l'identification pour le radiotéléphone et la mise en mémoire du réglage des sièges et de l'autoradio, un lecteur de cette carte étant intégré dans le tableau de bord de notre automobile. Il reste néanmoins beaucoup de chemin à parcourir pour aboutir à de tels systèmes et on verra probablement d'abord, dans un premier temps, l'éclosion de produits individualisés par chaque opérateur, qui y verra le moyen de fidéliser ses clients.

Ce domaine est particulièrement étudié par les entreprises de transport public notamment dans les grandes agglomérations où une concertation étroite entre les différents modes de transport est indispensable. On indiquera ci-dessous quelques exemples de projets en cours d'expérimentation.

Le groupe Caisse d'Épargne, La Poste, la Société Générale, le groupe Banques Populaires, la RATP et la SNCF sont associés pour créer un Porte-Monnaie-Electronique-Monétique-Billetique. Il s'agit d'une carte à microprocesseur à usage universel, interopérable, rechargeable, pour des utilisations multiples (SNCF, métro, bus, banques, tous commerces...), pouvant fonctionner indifféremment sur les modes contact et sans contact. La mise en place de plusieurs structures est envisagée pour l'exploitation de ce système appelé Billetique Monétique Services et prendre en compte toutes les spécificités régionales.

En région parisienne l'expérimentation « Francile » associant l'ensemble des entreprises de transport du secteur (Adatrif, APTR, RATP, SNCF), pilotée par le Syndicat des transports d'Ile-de-France, a pour objectif de tester l'acceptabilité par les usagers et par les agents du transport d'une billettique

nouvelle à partir d'une carte à mémoire rechargeable pouvant recevoir un abonnement ou une réserve d'argent.

Le projet européen Concert avec sa composante régionale marseillaise Stradivarius de nature expérimentale, a pour objectif de mettre en place des outils d'information et de paiement pour les transports publics et les véhicules particuliers. L'information peut être obtenue avant le déplacement par minitel ou l'internet ; elle est délivrée pendant le déplacement par PMV. La billettique est d'abord testée avec un support carte dont les spécificités sont définies en concertation avec de grands opérateurs de transport public (SNCF, RATP, RTM). L'évolution vers une carte monétique et multiservice conduit le support carte à microprocesseur à se conformer aux spécifications du GIE interbancaire et aux normes existantes en la matière. Les partenaires de ce projet sont importants et nombreux : institutionnels (état, ville, région, département...), exploitants de transports publics et sociétés d'autoroutes (ASFA, Escota), opérateurs (France Telecom, groupe bancaire), industriels.

Conclusion

La floraison des nouvelles applications possibles des NTIC a conduit à d'intenses réflexions en France, en Europe, aux Etats-Unis et au Japon pour concevoir une architecture cadre pour les systèmes intelligents de transport qui serait le point de passage obligé pour tout concepteur de système. Ce sera sans doute un thème récurrent dans les instances de normalisation pour les années à venir car des enjeux économiques et industriels très importants y sont liés.

L'entrée en force des technologies numériques pour traiter des flux d'informations toujours plus nombreuses génère de fortes potentialités d'emplois nouveaux exigeant des qualifications nouvelles.

L'exploitation des réseaux de transport se situe aujourd'hui au carrefour de disciplines et de métiers qui traditionnellement avaient peu de rapports, et les responsables de projets doivent être en mesure d'assurer une véritable médiation entre des opérateurs de transport, des exploitants d'infrastructure, des opérateurs de télécommunication, des constructeurs et équipementiers de matériels de transport et des électroniciens d'infrastructure, sans parler des autorités publiques responsables de transport.

Le pivot central de ce domaine est constitué par le généraliste capable de rédiger des spécifications fonctionnelles et d'en assurer le contrôle d'exécution en sachant parler suffisamment les multiples langages de ses partenaires spécialistes. Ce rôle de « project manager » ou de maître d'œuvre industriel, bien connu pour des projets complexes dans l'aéronautique et le

spatial, n'est pas encore bien intégré dans le domaine des transports terrestres. Jusqu'à présent, il a été tenu par des ingénieurs dont la formation a été complétée sur le tas de façon autodidacte. Une formation spécialisée, adaptée à ce rôle est utile, car il est sûr qu'à moyen terme, les « project managers » de ce type seront particulièrement recherchés.

Nouvelles technologies, nouveaux services, nouveaux emplois, nouveaux acteurs dans le monde du transport, les sociétés modernes qui aspirent à plus d'efficacité et de sécurité, assimilent progressivement les immenses possibilités ouvertes par les technologies numériques. Elles facilitent l'interopérabilité des systèmes et rendent possibles l'information globale et multimodale et la réactivité entre offre et demande de transport.

Les métiers d'exploitants de transports, gestionnaires publics et privés d'infrastructures ou de flottes de véhicules, les comportements de l'utilisateur de la route ou des transports publics ont déjà beaucoup évolué. Il semble que l'on puisse considérer qu'une nouvelle économie des transports prend place progressivement. Les structures des entreprises, les mentalités, ont parfois quelques difficultés à s'adapter aux transformations nécessaires, mais la dynamique est lancée.

Bibliographie

AMPELAS L., BEDIER M., COQUET G., DAGUERRÉGARAY M., PINSON D., Intermodalité, multimodalité dans les transports, Mastère Systèmes Intelligents de Transport de l'ENPC et SUPELEC, 1^{er} trimestre 2000.

BOLLO D., STUMM M., Logistique avancée, Mastère Systèmes Intelligents de Transport de l'ENPC et SUPELEC, 4^{ème} trimestre 1999.

DARGENT C., « L'expérience de diffusion d'information par RDS-TMC sur le réseau routier interurbain français », *Revue générale des routes et aérodromes*, octobre 1999.

DARGENT C., « La radio d'autoroute : de la maturité aux développements nouveaux », *Le dossier des autoroutes, ASFA*, n° 4, janvier 1998.

HAUDEBOURG A., GPS, localisation par satellites, téléassistance, recueil de données, Compte-rendu de la journée ATEC du 2 mars 1998, *Revue TEC* n° 150, novembre-décembre 1998.

YGNACE J.-L., DE BANVILLE E., « Les systèmes de transport intelligent », *Les études de la Documentation Française*, décembre 1999.

WILLIS P., « Le système GPS de navigation par satellite », *Revue R.E.E.* n° 6, juin 1997.

Navigation, Revue technique de l'Institut Français de Navigation, supplément au n° 187, juillet 1999.

Revue *ITS international*

Transport intelligent, Plaquette du ministère de l'équipement, des transports et du logement.

Le télépéage intersociétés, Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes.

L'autoroute intelligente, Association des Sociétés Françaises d'Autoroutes.

Sites internet

Le site internet www.itsfrance.net donne accès à de nombreux liens et à des news concernant l'ITS.