

La route et les transports terrestres

Roger Pagny,
*chef de projet Galileo à la Direction de la recherche et
des affaires scientifiques et techniques (DRAST),
et Guillaume Pensier,
Centre d'études techniques maritimes et fluviales (CETMEF)*

Si les transports aériens et maritimes se sont très vite approprié l'usage de la radionavigation par satellite, parfois avec une trop grande confiance d'ailleurs, le monde du transport terrestre, en dehors de la gestion de flotte et du guidage, reste un utilisateur qu'il faut convaincre.

Cet article examine un ensemble d'applications de GNSS dans le domaine des transports et de l'aménagement du territoire.

Nous en avons exclu d'emblée certaines, déjà traitées dans d'autres articles de ce numéro (navigation aérienne par exemple).

Le GNSS apporte un référentiel universel aisément accessible en tout point de la terre, indispensable à l'élaboration de systèmes d'information géographique avancés et à une gestion de patrimoine performante

La vérification des bases de cartographies existantes constitue la première étape d'un processus d'appropriation. Le GPS est déjà utilisé comme un simple outil de vérification des systèmes d'information géographique présents sur le marché. Un simple récepteur d'une valeur de 150 euros permet de mettre en évidence les écarts, de corriger les erreurs et surtout de compléter le dessin des réseaux. Les incohérences sont parfois surprenantes.

La seconde étape consiste à recréer une base totalement compatible avec les résultats des mesures GPS mais en apportant une précision plus grande. Plusieurs grandes villes en France travaillent déjà à la mise en place de ce type de banques de données. L'accès instantané à une précision d'un centimètre grâce à la diffusion des corrections différentielles réalisées à partir d'une station RGP (Réseau GPS permanent) de l'IGN permet aux gestionnaires de la voirie urbaine de construire des bases de données précises, numérisées, qui réconcilient le parcellaire du domaine public et les données cadastrales. Ces bases, une fois enrichies des réseaux aériens ou enterrés, d'un modèle numérique de terrain et d'élévation, constituent des outils irremplaçables pour une meilleure gestion du patrimoine urbain et la mise en œuvre de politiques publiques de transport et d'urbanisme ambitieuses.

Le GNSS apporte également une aide précieuse dans les études de déplacements même si certains progrès dans la méthodologie restent encore nécessaires

L'enregistrement systématique de la position et du temps associé au traitement automatique des données apporte une qualité d'information qu'il n'est pas possible d'obtenir avec des enquêtes papier traditionnelles. La comparaison des résultats entre les deux modes d'enquêtes est surprenante. La subjectivité des réponses aux questionnaires, même quand ils sont bien faits, conduit à des résultats très aléatoires. Les personnes interrogées oublient de mentionner des déplacements ou donnent des valeurs de temps passé tout à fait personnelles. L'enregistrement automatique du temps et du lieu élimine toutes ces erreurs. Différents dispositifs d'enquêtes existent déjà sur le marché. Le premier modèle est un simple récepteur GPS fonctionnant sur l'allumecigare, associé à un enregistreur. Il peut être installé dans n'importe quel véhicule en très peu de temps. Le second est destiné au piéton. Il est porté en bandoulière et dispose d'une autonomie de trois jours. À l'étranger, les villes, organismes d'enquêtes ou gestionnaires de trafic, qui ont déjà testé l'un ou l'autre de ces appareils,

se déclarent très satisfaits de la qualité des résultats obtenus. Utilisés dans des véhicules traceurs, les résultats traités à postériorité donnent une image précise, heure par heure, de la situation du trafic routier dans un centre-ville par exemple. Cette méthode convient très bien au réseau dont le niveau de congestion ne nécessite pas le développement d'une infrastructure lourde de collecte automatique des données type boucles magnétiques ou caméras. Des progrès dans la méthodologie sont néanmoins encore nécessaires, en particulier pour les enquêtes destinées à la planification. La première requête de position que l'on appelle techniquement "démarrage à froid du récepteur" est parfois longue, elle peut dépasser 10 mn, surtout en zone urbaine en raison du masquage des satellites. Il faut, de plus, disposer d'une base cartographique fiable et précise pour pouvoir reconstituer aisément le motif du déplacement. Enfin, l'algorithme qui permet de passer de la vitesse mesurée grâce à la mesure de l'effet Doppler au mode de déplacement utilisé, marche, bicyclette, automobile ou train, doit encore être amélioré. Certains chercheurs affirment que l'accélération serait un indicateur plus pertinent.

Le secteur routier

Alors que dans le secteur routier les transporteurs et les entreprises de travaux publics sont intéressés et utilisent ou développent des technologies satellitaires, les gestionnaires d'infrastructures, notamment publics, ne se sentent pas encore très concernés.

Aujourd'hui encore, le secteur routier en France ne se sent pas très concerné par le développement du positionnement et de la datation alors que les modes de l'aérien et du transport maritime se sont très vite appropriés cette nouvelle technologie.

Quelques applications phares comme la navigation ou le guidage d'engins sont en pleine émergence, mais la grande variété des applications possibles reste encore à explorer. Ces applications constituent une véritable source de productivité pour les exploitants, de confort et de sécu-

rité pour les usagers et ne devraient donc pas laisser encore très longtemps les décideurs indifférents.

Toutes les activités liées à la route comme la construction, l'entretien, l'exploitation, l'information des usagers et la sécurité peuvent tirer profit du développement du positionnement satellitaire.

Construction et travaux publics

Le positionnement par satellite est déjà très utilisé par les entreprises de travaux publics. Il simplifie l'implantation précise des ouvrages et permet un contrôle et une mesure en temps réel des quantités journalières réalisées. Il facilite la vérification du nombre de passes du compacteur. L'utilisation de récepteurs bifréquences, travaillant non plus sur la lecture de code télémétrique mais sur la mesure de phase (mode RTK : Real Time Kinematic), associés à une station de référence dont la position est parfaitement connue, permet d'implanter sur un rayon de 10 à 20 km des ouvrages avec une précision centimétrique. Le travail du géomètre de chantier est simplifié. Les engins de chantiers peuvent également être guidés avec la même précision. Il faut mentionner aussi la possibilité d'effectuer des mesures au millimètre. Ces mesures nécessitent des temps d'acquisition plus longs ou du post-traitement mais sont fort utiles pour surveiller des déformations d'ouvrages ou des zones de subsidence par exemple.

Entretien et gestion de patrimoine

Avec des récepteurs GPS déjà présents sur le marché et qui, demain, seront de plus en plus associés à un téléphone portable, il est possible de positionner à un mètre près sur l'Europe tout entière tous les objets qui composent une infrastructure routière et cela dans un référentiel universel comme l'ITRF (International Terrestrial Reference Frame) ou le WGS84 (repère géodésique du GPS). À l'heure où le nombre de gestionnaires du domaine public routier croît, il serait haute-

ment souhaitable d'inviter les maîtres d'ouvrages à utiliser de façon systématique ce mode de positionnement. La cohérence des points kilomètres (ou repères) n'est pas toujours assurée le long d'un itinéraire et ces points sont d'un accès difficile pour le non-spécialiste. Le positionnement par satellite est un outil puissant qui favorisera l'homogénéisation des différents systèmes d'information routiers. De plus, avec la remontée automatique d'information géolocalisée, des gains de productivité considérables sont possibles pour les agents appelés à intervenir quotidiennement sur ce patrimoine (attachements de travaux, plans de récolement, information routière, statistiques nationales sur les accidents...).

Exploitation, information des usagers

Dans les véhicules la généralisation des systèmes de navigation embarqués capables de recevoir en temps réel de l'information routière type RDS-TMC (Radio Data System-Traffic Message Channel) permet d'apporter un service de très haute qualité aux usagers. En Europe, les grands fournisseurs de cartographie numérique ont déjà traité 6 millions de kilomètres de routes pour un guidage carrefour par carrefour et cela dans la langue maternelle du conducteur, quel que soit le pays. Grâce à cette cartographie, déjà 290 millions d'Européens peuvent être joints par une adresse postale située le long de ce réseau.

Lorsque le parc automobile européen aura atteint un niveau d'équipement aussi fort que celui du Japon où actuellement 60 % des véhicules vendus sont équipés d'un système de navigation, on pourra également envisager de simplifier la signalisation directionnelle.

Le positionnement satellitaire des véhicules, associé à un système de gestion de flotte, apporte des gains de productivité notables aux professionnels qui ont fait le choix de s'équiper.

La gestion de flotte généralisée aux engins d'entretien routier apportera aussi un service supplémentaire à l'usager. Quoi de plus simple, lorsque les

engins de déneigement sont équipés de récepteur GNSS (Global Navigation Satellite System), de mettre cette information à la disposition des usagers sur l'Internet. Dans beaucoup de régions montagneuses le simple fait de savoir que le chasse-neige est passé constitue déjà une information précieuse.

Aux États-Unis le suivi des chasse-neige grâce au GPS est déjà une réalité dans plusieurs États. Les positions des engins sont remontées en permanence à un centre de contrôle et les quantités de fondants répandus sont notées dans une base de données historiques pouvant servir de preuve le cas échéant.

Une utilisation particulière et spectaculaire est le guidage précis des engins de déneigement. L'université de Wisconsin (Madison) a démontré qu'il était possible de faire évoluer en pleine tempête de neige un engin de déneigement en s'appuyant sur un positionnement GPS différentiel associé à une base de données géographiques précises. Cette base permet de projeter sur un écran embarqué les bords de la chaussée. Un radar complète le dispositif en indiquant sur l'écran la position des autres véhicules le cas échéant. Cet équipement autorise des interventions de déneigement dans des conditions extrêmes.

Sécurité, secours et vitesse

Tout événement associé à un repérage en coordonnées géographiques précises pourra aisément être visualisé sur une cartographie embarquée et permettra à l'automobiliste d'adapter sa vitesse à l'endroit voulu. Ce repérage en coordonnées géographiques peut être rendu complètement transparent pour l'utilisateur. Les moyens de positionnement existants, points kilométriques ou repères, n'apportent pas ce niveau de précision et de confort. Par exemple, même le balisage très soigné des autoroutes est inopérant pour l'usager en cas de brouillard dense et ne permet pas d'éviter les carambolages en série.

Des projets de recherche et d'expérimentation comme le LAVIA ou "Next Map" envisagent déjà de compléter cette cartographie de guidage

par des informations précises sur les limitations de vitesse ou les zones particulièrement dangereuses. Le développement des systèmes anticollision, le guidage avec une augmentation de précision et une intégrité apportée par un complément des signaux satellitaires au sol le long des itinéraires équipés sont aussi des solutions d'avenir.

Dans un avenir plus proche il nous faudra envisager de généraliser la localisation précise des appels d'urgence effectués à partir d'un téléphone portable. Ce service n'est disponible en France aujourd'hui que sur les 23000 km équipés d'un réseau d'appels d'urgence alors que le réseau routier total dépasse le million de kilomètres. Bien sûr, des problèmes de normalisation, de mutation devront être surmontés pour que tous les services d'urgence soient capables de traiter des appels positionnés en coordonnées géographiques, mais les gains de sécurité routière seront sans commune mesure car la majorité des accidents mortels se produit en dehors des grands axes.

Enfin, la généralisation des moyens de positionnement et de communication sur l'ensemble des véhicules permettra de construire des matrices origine-destination fidèles, de calculer des temps de parcours précis et facilitera la gestion du trafic et l'information du voyageur.

Tarification des infrastructures

L'intérêt du télépéage associant la position satellitaire à la téléphonie mobile, même s'il rencontre encore quelques difficultés techniques, ne peut être sous-estimé. Sont en jeu : la souplesse de la tarification, l'interopérabilité au niveau européen et la rapidité de déploiement.

Le télépéage associé à la localisation par satellite et à la téléphonie mobile autorise une grande souplesse pour la définition précise des axes et des zones concernés. La tarification peut également prendre en compte plus facilement des variations de tarifs horaires, gérer les exceptions et les atteintes ponctuelles à l'environnement (congestion, pollution...) et respecter les relations commerciales qu'un concessionnaire voudra entretenir avec une clientèle privilégiée.

La solution GNSS/téléphonie mobile permettra d'éviter la multiplication des solutions techniques qui conduirait à une nouvelle balkanisation de l'Europe des télépéages alors que les déplacements intracommunautaires deviennent de plus en plus nombreux. La prolifération de systèmes différents à l'intérieur d'un même véhicule est aussi à éviter, alors que les signaux GNSS et GSM sont déjà disponibles sur toute l'Europe et utilisent des standards internationaux très répandus et solidement documentés. EGNOS apporte déjà une amélioration de la couverture GPS notamment en zone urbaine et une précision suffisante. Galileo viendra encore améliorer ces performances dans un avenir très proche.

La généralisation du positionnement satellitaire obligera les opérateurs de transport à utiliser un référentiel commun. Cette obligation incitera également les constructeurs automobiles à une certaine normalisation de la plate-forme embarquée. Il faut souligner que la généralisation de dispositifs normalisés de positionnement et de communication sur l'ensemble des véhicules en Europe permettra le développement d'un nombre considérable d'autres services, déjà mentionnés ci-dessus, comme l'alerte sur obstacles, la navigation embarquée, l'information routière, le limiteur automatique de vitesse et surtout le positionnement des appels d'urgence.

Même si les obligations de contrôle viennent tempérer cette affirmation, la solution GNSS/téléphonie mobile réduit considérablement le coût d'équipement des infrastructures.

Notons que dans certains cas, faute d'espace suffisant pour installer des dispositifs de péage, le passage à une tarification serait matériellement impossible. La rapidité de déploiement est également une conséquence directe de ce faible impact sur les infrastructures.

Les points délicats de cette technologie seront l'acceptabilité sociale si la perte d'une certaine partie de la vie privée n'est pas compensée par l'accès à des services complémentaires et l'ingéniosité des fraudeurs. Les diffé-

rents services prévus dans Galileo devraient permettre une meilleure lutte contre la fraude.

La période de transition entre un parc qui s'équipera progressivement et un parc non équipé nécessitera inévitablement de mettre au point des équipements de "seconde monte". Il sera également nécessaire d'étudier les interférences, les pertes de signal notamment en tunnels ou en zone urbaine.

Transports maritimes

Historiquement c'est le transport maritime qui, le premier, a fait appel aux techniques satellitaires, pour ses échanges de communications et ses signaux de détresse. Ce mode de transport utilise désormais le système GPS pour ses besoins en positionnement et fera sans doute appel à EGNOS puis Galileo dès que ces systèmes seront opérationnels.

Dans le milieu maritime, les besoins en moyens de géolocalisation diffèrent fondamentalement selon le type de navigation : hauturière, à l'approche des côtes, portuaire.

S'agissant de la navigation hauturière, la distance au plus proche obstacle fixe est de l'ordre de 50 NM et les moyens de navigation visent avant tout à préparer des routes sûres et économiques. Les mouvements des navires étant relativement lents, l'absence momentanée du signal de positionnement est tolérable. Dans ce contexte, les performances exigées des systèmes de positionnement sont plutôt modestes :

- précision : 10 à 100 m,
- disponibilité : 99 % sur 30 jours,
- intégrité, délai d'alerte : 10 s.

Seules les applications de type "recherche et secours" pourraient nécessiter un positionnement plus précis de façon à raccourcir les délais de secours.

S'agissant de la navigation côtière, à moins de 50 NM des côtes, le trafic maritime y est beaucoup plus dense et les eaux sont moins profondes (limites du plateau continental) ; dès lors, le risque d'échouement ou d'abordage est plus important qu'en haute mer. Ce risque s'accroît lorsque les bâtiments pénètrent dans les chenaux

d'approche portuaire, dont la largeur se réduit à mesure que l'on s'approche du port. Il s'agit donc d'une zone où le risque accidentologique est avéré, avec des conséquences importantes sur la sécurité des personnes et des biens. C'est pourquoi les performances attendues des systèmes de positionnement sont ici plus élevées :

- précision : 10 m,
- disponibilité : 99,8 % sur 30 jours,
- intégrité, délai d'alerte : 10 s.

S'agissant enfin de la navigation à l'intérieur des installations portuaires, les systèmes de navigation visent essentiellement à prévenir les collisions avec les autres utilisateurs ou les installations à quai, ainsi qu'à faciliter l'accostage. Au-delà de la navigation, les autorités portuaires utilisent les systèmes de géolocalisation pour assurer la traçabilité de certaines marchandises (matières dangereuses), optimiser l'utilisation des outillages portuaires ou procéder à des relevés bathymétriques. Il est donc attendu un haut niveau de performance des moyens de positionnement :

- précision : 3 m,
- disponibilité : 99,8 % sur 30 jours,
- intégrité, délai d'alerte : 10 s.

Les besoins du transport maritime en moyens de géolocalisation sont aujourd'hui satisfaits par le GPS, dont la précision à l'approche des côtes est améliorée par les stations différentielles situées sur les côtes françaises. Au nombre de 7, ces stations déterminent les erreurs de mesure sur la constellation GPS et envoient ces corrections en temps réel aux récepteurs mobiles, de façon à assurer une précision inférieure à 5 m pendant 95 % du temps. Selon toute vraisemblance le transport maritime sera un utilisateur du système Galileo, le futur GNSS européen, qui offrira des performances sensiblement accrues tant en précision qu'en intégrité.

Outre les systèmes GNSS, le transport maritime utilise également un système de positionnement par ondes terrestres : le LORAN C. Utilisé au départ pour les besoins de l'US Navy, ce système a été étendu à l'Europe et au transport marchand ; il repose sur un réseau de stations côtières d'une portée d'environ 1 000 km, le récepteur

mobile LORAN C déterminant sa position en mesurant les différences de temps d'arrivée du signal entre une station maîtresse et deux stations secondaires. Même s'il offre des performances en précision inférieures au GPS (et *a fortiori* Galileo) il offre une grande résistance au brouillage et peut être utilisé dans des environnements difficiles ; de fait, même si l'avenir de ce système n'est pas encore complètement assuré, son utilisation comme système de "secours" de Galileo fait partie des hypothèses à envisager.

Les systèmes de géolocalisation vont bien sûr trouver leur place dans la mise en œuvre prochaine de l'AIS (Système d'identification automatisé) qui viendra prochainement renforcer les moyens de contrôle/surveillance du trafic maritime. Les données de positionnement sont en effet incluses dans les messages d'identification que les bâtiments vont échanger entre eux et avec les autorités de surveillance du trafic.

La généralisation de l'AIS apportera des avantages appréciables aux pilotes, qui auront une connaissance exhaustive de l'état du trafic environnant, mais aussi aux services étatiques, qui auront une connaissance en temps réel de la situation des navires et de leur cargaison.

L'expérimentation menée en 2001 par le CETMEF (Centre d'études techniques maritimes et fluviales) a apporté de précieux enseignements sur les apports de l'AIS et la portée des stations côtières. La Direction des affaires maritimes et des gens de mer (DAMGM) prévoit d'équiper progressivement la totalité de la façade Manche en stations AIS, les autres façades maritimes devant aussi être équipées par la marine.

Les messages AIS sont actuellement transmis (liaisons navire/navire et navire/station côtière) par liaisons radio VHF ; à terme, il est vraisemblable que le segment satellitaire sera aussi utilisé, ce qui permettra d'améliorer sensiblement la portée de l'AIS. Une expérimentation est menée en ce sens (projet Nauplios, auquel participent notamment la DAMGM, le CNES et Thales), dont les premiers résultats devraient être connus en 2004.

Transports fluviaux

Jusqu'ici peu utilisés en milieu fluvial, les systèmes de géopositionnement sont appelés dans un proche avenir à être une composante essentielle de la "voie d'eau intelligente".

Du point de vue des exploitants de la voie fluviale, les avantages qui pourraient être retirés de la présence de moyens de géopositionnement à bord des embarcations sont multiples :

- surveillance de la navigation, "trac-king",
- contrôle du trafic dans des zones spécifiques à fort risque accidentologique,
- gestion du trafic,
- recette de péage,
- statistiques sur les voyages.

S'agissant des usagers, l'utilisation du GPS présenterait le plus grand intérêt dès lors que l'information relative au positionnement serait couplée avec un système de cartographie performant, permettant au pilote de visualiser l'état du fleuve et de la circulation environnante. La norme applicable pour les cartes électroniques de navigation est celle de la Commission centrale de navigation sur le Rhin : l'*inland* ECDIS, qui reprend l'ECDIS maritime et intègre également les conditions spécifiques à la navigation intérieure. En recoupant les informations de positionnement des embarcations, la carte électronique ECDIS présente l'image tactique du trafic et peut donc fournir une aide précieuse au pilote pour réduire le risque d'accident et optimiser son parcours.

En milieu fluvial, la précision attendue du géopositionnement est très variable selon le type d'applications : de l'ordre du mètre pour le pilotage des embarcations, jusqu'à 1 km pour la diffusion d'informations touristiques aux usagers.

À ce jour l'utilisation de moyens de géopositionnement est encore peu répandue parmi les usagers de la voie fluviale, mais devrait sans doute s'accroître sous l'impulsion des organismes exploitants et suite à l'adoption par l'Union européenne de la directive "River Intelligent Services" actuellement à l'état de projet.



Tableau de bord.

Tout comme en milieu maritime et portuaire, le système d'identification automatisé AIS peut être utilisé sur la voie fluviale, mais son usage sera sans doute limité aux zones à fort trafic ou à forte accidentologie compte tenu des coûts qu'il sous-tend.

D'ores et déjà, le CETMEF a conduit avec succès une expérimentation de l'AIS sur le bief parisien, même si les passages sous les ponts occasionnent fréquemment une perte temporaire de l'information de positionnement. Dans les zones non AIS, il est vraisemblable que les réseaux de radiocommunications publics seront utilisés pour rapatrier vers l'exploitant les données relatives au positionnement des embarcations; une première expérimentation en ce sens devrait être menée sur quelques voies navigables françaises, en équipant les usagers de téléphones mobiles GPRS dotés de la fonction GPS.

Conclusion

Galileo, facteur d'intégration européenne et pièce maîtresse de l'évolution technologique des prochaines décennies.

Galileo et EGNOS constituent un investissement important pour les États membres de la Communauté européenne.

Les signaux EGNOS seront disponibles sur toute l'Europe en 2004 et en 2008 pour Galileo.

Il serait dommage sous prétexte qu'il existe déjà des solutions moins performantes mais éprouvées de ne pas "capitaliser" sur les infrastructures de radionavigation en cours de déploiement.

La radionavigation par satellite associée aux nouvelles possibilités de télécommunications sans fil de seconde et troisième génération contribuera à atteindre les objectifs fixés par la Commission européenne sur le réseau autoroutier européen en termes d'interopérabilité, de continuité de services tout en minimisant les coûts sur les infrastructures routières et en permettant une grande flexibilité du système.

Si l'utilisation des signaux satellitaires et des réseaux de télécommunications constitue la solution d'avenir pour le développement de nombreux services en Europe dont le télépéage, il est néanmoins nécessaire de réaliser au plus tôt des expérimentations ciblées portant sur le contrôle, la disponibilité d'équipement de seconde monte, la continuité dans les zones urbaines denses, l'architecture du système et le modèle économique... pour préparer un déploiement à grande échelle.

La vocation de la technique de localisation et de synchronisation par satellite est destinée à un usage universel. D'innombrables activités feront de plus en plus appel à de l'information géoréférencée et à une connaissance précise de la position et du temps. Il s'agit d'une mutation technique aussi importante que le développement récent des radiocommunications et de l'Internet.

Le développement de Galileo accompagne cette mutation dont les effets dans le temps porteront sur plusieurs décennies. Le monde routier doit prendre toute la mesure de cette mutation et sortir de sa réserve. ■