

<b>Zeitschrift:</b>	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)
<b>Band:</b>	100 (2002)
<b>Heft:</b>	8
<b>Artikel:</b>	Systèmes de navigation de haute précision pour l'automobile
<b>Autor:</b>	Konnen, J. / Gilliéron, P.-Y.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-235922">https://doi.org/10.5169/seals-235922</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 25.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Systèmes de navigation de haute précision pour l'automobile

J. Konnen, P-Y. Gilliéron

### Évolution des systèmes de navigation

Les systèmes de navigation pour l'automobile ont pour principal objectif de guider le conducteur à la destination qu'il a préalablement choisie. Le système de navigation propose à l'automobiliste le meilleur itinéraire extrait d'une carte numérique du réseau routier. Le rôle de l'aide chauffeur est réalisé grâce à une double interface vocale et visuelle.

Un tel système est autonome et propre à chaque voiture, l'ensemble des opérations de calcul d'itinéraire étant effectué à bord du véhicule. Aucune information n'est échangée avec une centrale routière ou avec d'autres automobilistes. Tout au plus le système peut recevoir et intégrer des informations de trafic reçues par le canal numérique (RDS: Radio Data System) de la bande FM.

Une première étape de l'évolution des systèmes de navigation consiste à favoriser l'échange d'information entre les véhicules et une centrale de gestion du trafic. Chaque véhicule équipé d'un système de navigation connaît sa position et sa vitesse à chaque instant et peut communiquer ces informations à une centrale au moyen d'un SMS (short messaging service). La collecte de données provenant d'un ensemble de véhicules (floating car data) permet d'évaluer et de prédire la charge de trafic sur certains tronçons. Dans ce contexte, le système de navigation qui communique joue le rôle d'un instrument de mesure au service de la télématique routière.

Dans une seconde étape, les systèmes de navigation seront beaucoup plus intégrés aux fonctions du véhicule. Afin de répondre aux exigences croissantes en matière de sécurité, ces systèmes auront un rôle d'assistance à la conduite (ADAS: Advanced Driver Assistance Systems). Plusieurs projets de l'industrie automobile vont dans ce sens: orientation des phares, maintien d'un intervalle constant entre véhicules, contrôle automatique de la

De nos jours, la problématique des transports devient toujours plus importante. De plus en plus de véhicules occupent nos routes et les embouteillages font partie de notre vie quotidienne. Voilà une des raisons qui a incité la communauté européenne à redéfinir sa politique des transports. Jusqu'en 2010, elle veut réduire les surcharges des réseaux routiers et augmenter la sécurité du trafic, le tout dans l'optique du développement durable. Afin de mieux gérer le trafic et de diminuer le nombre d'accidents, les professionnels de la route et les usagers auront recours à de nouvelles technologies comme par exemple des systèmes de navigation de haute précision.

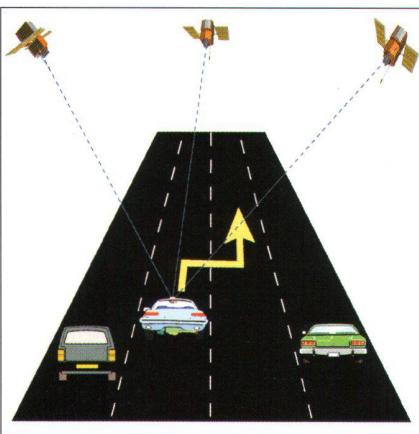
L'évolution des systèmes de navigation sera une œuvre concertée entre l'industrie automobile et les fournisseurs de données cartographiques. La précision des outils de localisation et celle des cartes numériques devront évoluer conjointement. Cette recherche s'est déroulée dans ce contexte. Elle a permis de mettre en perspective le potentiel des systèmes de navigation face à l'évolution des bases de données routières.

*Transportprobleme spielen heutzutage eine immer grösser werdende Rolle. Eine ständig wachsende Anzahl an Fahrzeugen bewegt sich auf unseren Strassen und der Stau gehört längst zum grauen Alltag eines jeden Autofahrers. Dies ist nur einer der Gründe, weshalb die Europäische Union ihre Transportpolitik neu definiert hat. Die Verantwortlichen wollen bis 2010 sowohl die Verkehrsnetze entlasten, als auch die Verkehrssicherheit erhöhen. Dies alles geschieht im Zeichen der Nachhaltigkeit. Um einen besseren Verkehrsfluss zu ermöglichen und die Anzahl der Verkehrsunfälle zu vermindern, werden die Straßenfachleute und die Benutzer auf moderne Technologien, wie zum Beispiel hochpräzise Navigationssysteme, zurückgreifen.*

*Die Entwicklung solcher Systeme wird ein Zusammenspiel der Automobilindustrie und der Hersteller digitaler Straßenkarten sein. Die Präzision von Navigationsinstrumenten und digitalen Karten müssen sich Hand in Hand entwickeln. Das hier beschriebene Forschungsprojekt erlaubt eine Gegenüberstellung der zukünftigen Möglichkeiten im Bereich der Navigation und der Entwicklung der digitalen Straßenkarten.*

Al giorno d'oggi, la problematica dei trasporti diventa sempre più importante. Cresce continuamente il numero dei veicoli che occupano le nostre strade e gli ingorghi fanno parte della vita quotidiana. Ecco quindi una delle ragioni che hanno spinto la comunità europea a ridefinire la politica dei trasporti. Per il 2010, vorrebbe ridurre i sovraccarichi delle reti stradali e aumentare la sicurezza del traffico, il tutto nell'ottica dello sviluppo sostenibile. Per gestire al meglio il traffico e diminuire il numero d'incidenti, i professionisti e gli utenti della strada potranno ricorrere a delle nuove tecnologie come ad esempio i sistemi di navigazione ad alta precisione.

L'evoluzione dei sistemi di navigazione sarà un'opera congiunta tra l'industria automobilistica e i fornitori d'informazioni cartografiche. La precisione degli strumenti di localizzazione e delle carte numeriche dovranno evolvere congiuntamente. Questo lavoro di ricerca si è svolto in tale contesto. Ha permesso di evidenziare il potenziale dei sistemi di navigazione in rapporto con l'evoluzione della telematica stradale.



**Fig. 1: Détection du changement de voie.**

vitesse, systèmes d'avertissements (courbes) et évitement de collisions.

Ces systèmes d'assistance devront s'appuyer sur des données précises et fiables. Ainsi les systèmes de navigation vont suivre les développements de l'industrie automobile et devenir plus performants et plus précis.

## Contexte de la recherche

Les systèmes d'aide à la navigation automobile actuels s'appuient sur des données cartographiques et sur des moyens de localisation dont la précision générale est de 10 à 15 m selon les régions. Cette précision est tout à fait adaptée aux exigences de l'aide à la navigation, notamment lorsqu'il s'agit d'avertir le conducteur d'un changement de direction avant un carrefour.

Les applications à venir liées aux systèmes de navigation nécessiteront une précision bien plus élevée, aussi bien pour les données cartographiques que pour la localisation. Un des objectifs de l'industrie est de localiser un véhicule à l'intérieur d'une voie de circulation (figure 1). Dans ce cas une précision de l'ordre du mètre est nécessaire.

Comme exemple d'application, on peut citer l'amélioration de la fluidité du trafic dans les grandes agglomérations. Le système de navigation du futur devra avertir le conducteur assez tôt pour qu'il choisisse la bonne voie de présélection ou qu'il garde sa route (lane keeping).

Ceci introduit une nouvelle problématique: si les routes ne sont aujourd'hui représentées que par un simple trait dans la base de données, il faudra disposer d'informations précises et détaillées concernant le nombre de voies et leur étendue. Dans cette recherche, on s'est intéressé aux questions suivantes:

- Quelles méthodes de modélisation routière peut-on utiliser pour décrire l'ensemble des voies de circulation d'une route?
- Quelles techniques peut-on appliquer pour localiser un véhicule sur une voie?
- Est-ce qu'une localisation absolue sur une voie est possible et, le cas échéant, pourrait-on détecter les changements de voie d'une autre manière?

### Fonctionnement d'un système de navigation

En général, un système de navigation est formé de plusieurs modules:

- le module «carte numérique»
- le module de localisation et de map matching
- le module de planification d'itinéraire
- le module de guidage

L'utilisateur communique sa destination au système. Entre-temps les informations des capteurs de positionnement et celles issues de la base de données routières fournissent la position du véhicule. Le système calcule un itinéraire idéal selon les contraintes du réseau routier (sens, interdiction). En continuant à intégrer les informations de position en temps réel, le système guide le conducteur tout au long du parcours calculé. En cas de non-respect de ces conseils, il recalculera un nouveau trajet et continue à renseigner le conducteur sans nécessairement le forcer à faire demi-tour [Zhao, 1997].

Dans la plupart des systèmes de navigation modernes, on combine une série de capteurs afin d'obtenir une information de position fiable et précise. Un récepteur GPS est certes une des composantes principales d'un tel appareil, mais ce n'est de loin pas le seul capteur utilisé. Le système combine ainsi des informations de distance parcourue (mesurée à l'aide d'un odomètre) et de direction (mesurée à l'aide d'un gyroscope) afin de calculer un parcours local. Cette technique est appelée «navigation à l'estime» ou «DR:Dead Reckoning». Ce résultat peut être combiné aux mesures GPS – absolues – pour fournir une trajectoire dans un système global.

Le système fait ensuite correspondre cette trajectoire à son pendant le plus probable contenu dans la base de données routières. Cette technique est appelée «Map Matching», littéralement «coller à la carte».

Afin de tirer profit de l'ensemble des capteurs et de la carte routière numérique, le système de navigation va fusionner l'ensemble des informations. Cette combinaison d'informations peut être réalisée au moyen d'un filtre numérique de Kalman.

### Modèles de données pour la navigation automobile

Les bases de données routières constituent une composante principale d'un système de navigation automobile. Les données géométriques sont nécessaires pour la localisation d'un véhicule sur le réseau routier. Si le conducteur désire calculer un itinéraire, il faut que la base de données routières contienne des attributs comme le sens d'une voie de circulation et les restrictions de trafic.

Actuellement, toutes les données utilisées dans les systèmes de navigation sont modélisées selon une seule norme: GDF (Geographic Data Files). Les deux plus grands fabricants de cartes, Navigation Technologies (NavTech) et TeleAtlas, utilisent certes leur propre format de compression lors du stockage sur CD-ROM, mais toute la modélisation est faite selon cette norme.

Cependant, GDF n'offre pas assez de possibilités pour la modélisation de toutes les voies d'une route. Une proposition d'extension à GDF a été faite à l'occasion du projet NextMap [Hummelsheim et al., 2001]. Il s'agit d'un projet de recherche européen qui a comme but d'analyser la faisabilité technique et économique d'une base de données cartographiques élargie contenant les objets et les attri-

but requis par les systèmes avancés d'assistance au conducteur ainsi que l'incidence d'une extension de la base de données cartographiques sur la conception de ces systèmes.

Les principaux résultats du projet Nextmap sont une proposition d'extension du standard ISO GDF, qui inclut la modélisation topologique des voies d'une route et les aspects géométriques liés.

Dans cette recherche, nous nous sommes inspirés des résultats de Nextmap et avons décidé d'analyser les potentialités de cette extension à GDF 4.0. Nous avons modélisé un tronçon d'essai selon ces critères afin d'évaluer le modèle proposé.

Il en ressort que le modèle NextMap constitue une bonne approche pour la modélisation de la géométrie routière, ce-ci dans l'optique d'une navigation précise. Il y a cependant quelques problèmes liés au fait que les largeurs de voie sont considérées comme constantes. Beaucoup de difficultés de transition pourraient être résolues par la définition de deux attributs de largeur par voie.

## Essais réalisés

Cette étape de la recherche a permis d'étudier et d'analyser les méthodes et technologies de localisation précise. Pour cela, on a choisi de travailler avec des capteurs de haute performance afin de réaliser un prototype d'un système de localisation suffisamment précis. Ce dispositif était composé d'un système GPS différentiel (DGPS) de précision métrique, d'un gyroscope de gamme moyenne et d'un odomètre simulé par un GPS très précis.

Afin d'évaluer le potentiel d'un système de navigation précis, trois essais ont été réalisés:

**Comparaison de plusieurs méthodes GPS:** Quelques trajets ont été réalisés sous bonnes conditions de visibilité des satellites. Ces mesures ont permis de comparer plusieurs solutions GPS et DGPS.

### Localisation précise:

On a réalisé plusieurs parcours sur le tron-

çon d'essai afin de juger de l'adéquation de différents modes de mesures GPS et des méthodes d'intégration INS/GPS. Ce couplage des méthodes simule l'architecture d'un système tel qu'il est préconisé pour une navigation de haute précision.

### Changements de voie:

Des changements de voie se manifestent d'une manière très caractéristique sur les signaux d'un gyroscope ou d'un accéléromètre latéral. Afin de pouvoir analyser ces signaux, des parcours sur autoroute ont été réalisés.

## Résultats

### Comparaison de différentes méthodes GPS

Actuellement, l'industrie automobile n'a pas recours à un service de corrections différentielles pour le GPS. Ceci s'explique par le fait qu'une telle solution peut devenir coûteuse et qu'il n'existe pas de service bon marché et disponible à l'échelle continentale ou mondiale.

Cependant, le programme d'augmentation régionale GNSS-1 prévoit la mise en service de 3 systèmes interopérables en Europe, aux Etats-Unis et au Japon, et ce-ci sans frais d'abonnement pour l'utilisateur. Ces services d'augmentation sont surtout censés garantir la précision et la fiabilité nécessaires pour les applications de l'aviation civile [Gilliéron, 1999].

La contribution européenne à GNSS-1 s'appelle EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) et se trouve actuellement en phase d'essais avec le programme ESTB (EGNOS System Test Bed) [ESA, 1999].

De nos essais, il est ressorti qu'une solution DGPS fiable et précise est tout à fait suffisante pour permettre une localisation sur une voie. Toutefois, en cas de mauvaises conditions de réception des signaux GPS, on doit recourir à des techniques complémentaires afin de garantir la continuité de la localisation.

Selon des premiers essais réalisés par l'agence spatiale européenne (ESA), le service EGNOS devrait être adapté à la localisation d'un véhicule sur une voie sans

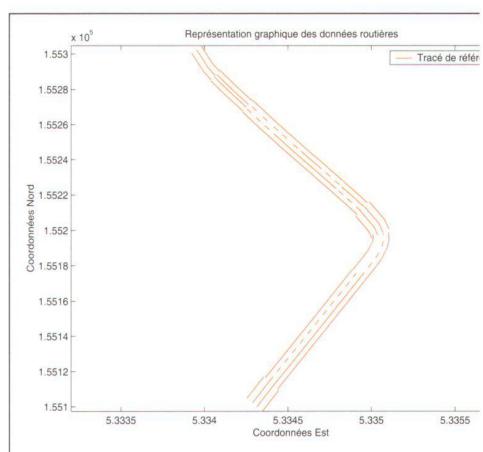


Fig. 2: Modélisation du site d'essais selon le modèle NextMap.

ambiguïté. Ceci est prometteur et semble donc adapté à l'emploi dans un système de navigation de haute précision.

### Intégration de capteurs

Plusieurs méthodes d'intégration des données provenant des différentes sources ont été appliquées. Finalement, un filtre de Kalman [Merminod, 1989] a été retenu. Il s'agit d'une méthode de compensation selon les moindres carrés pour des applications cinématiques, qui combine un modèle de mesures et un modèle de mouvements. Elle permet d'estimer les écarts-types de la trajectoire, ce qui est absolument nécessaire en navigation de haute précision.

Avec une telle approche, il s'est avéré

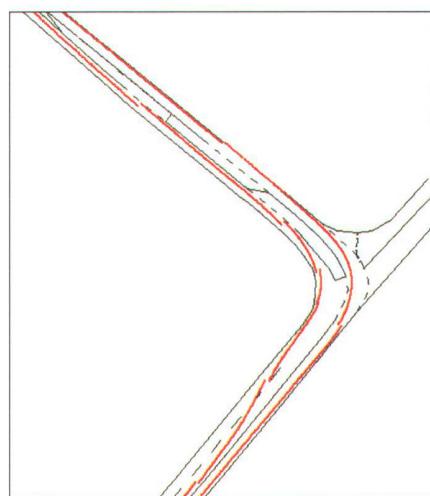


Fig. 3: Superposition de la trajectoire calculée à la géométrie de la route.

qu'une localisation sur une voie peut être garantie pendant au moins 10 secondes lorsque les signaux GPS/DGPS ne sont pas disponibles. Ces performances peuvent encore être améliorées à l'aide d'une meilleure modélisation des différents capteurs.

Sur la figure 3, on visualise la superposition de la trajectoire calculée à la géométrie réelle du site. On observe que la localisation sur une voie est univoque.

### Changements de voie

Lorsqu'une localisation absolue sur une voie de circulation s'avère impossible, on peut détecter des changements de voie à l'aide des signaux d'un accéléromètre latéral.

On a choisi de travailler avec des seuils de détection. Si on dépasse une certaine valeur positive ou négative dans un certain laps de temps, on détecte un changement de gauche à droite ou inversement. Sur la figure 4, on peut lire les changements détectés qui sont indiqués par des flèches.

### Conclusions

Un système de navigation de haute précision pour voitures tel qu'il a été évalué à l'occasion de ce projet peut aider le conducteur dans des situations complexes, améliorer la fluidité du trafic et réduire les temps de parcours.

Plusieurs aspects concernant la précision latérale d'un tel système ont été analysés et on peut formuler les conclusions suivantes:

- En matière de modélisation routière, l'extension à GDF proposée dans le projet NextMap est adaptée aux exigences d'une navigation routière de précision.
- Le module de localisation d'un système de navigation de haute précision requiert un service DGPS précis et fiable. La solution proposée par le programme EGNOS est envisageable.
- Même lorsqu'on n'arrive pas à garantir une localisation absolue assez précise, la détection des changements de voie peut s'effectuer à l'aide d'un accéléromètre latéral ou d'un gyroscope.

Ce projet a montré qu'un prototype, basé sur des capteurs performants, permet de réaliser des tâches de navigation de haute précision en s'appuyant sur un modèle de données détaillé. Cette étude n'a pas porté sur la recherche de capteurs répondant aux exigences de précision et adaptés à l'automobile. C'est certainement le défi majeur de l'industrie automobile que d'intégrer ces nouveaux capteurs de navigation aux autres systèmes qui équiperont les voitures de demain. Les systèmes de navigation du futur intégreront certainement d'autres fonctions comme la détection d'objets par radar et la vision artificielle.

### Bibliographie:

[ESA, 1999] ESA (1999). EGNOS – the european geostationary navigation overlay service: Europe's first-generation regional contribution to GNSS. Brochure de l'Agence Spatiale Européenne.

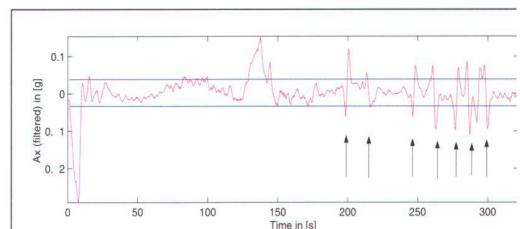


Fig. 4: Analyse du signal permettant la détection des changements de voie.

[Gilliéron, 1999] GNSS2: vers un système européen de navigation par satellite. MPG/VPK 1/99 pp22–24.

[Hummelsheim et al., 2001] Hummelsheim, K., Schraut, M., Bartoli, M., Pandazis, J.-C., et Hiestermann, V. (2001). Nextmap: GDF extension format for transport telematics applications, version provisoire 1.3.

[Konnen, 2002] Konnen, J. – Systèmes de navigation de haute précision. EPFL, Laboratoire de Topométrie. Travail de diplôme.

[Merminod, 1989] Merminod, B. (1989). The use of Kalman filters in GPS navigation. Univ-S35, University of New South Wales.

[Zhao, 1997] Zhao, Y. (1997). Vehicle Location and Navigation Systems. ITS- Intelligent Transportation Systems. Artech House, INC.

Jeff Konnen  
Pierre-Yves Gilliéron  
EPFL  
Faculté ENAC  
Laboratoire de Topométrie  
Bâtiment GR  
CH-1015 Lausanne  
<http://topo.epfl.ch>

Wandeln Sie Ihr INTERLIS-Datenmodell in ein UML-Diagramm. Oder umgekehrt. Software herunterladen, testen.

## Ihr Datenmodell als Diagramm!



EISENHUT INFORMATIK

Rosenweg 14 • CH-3303 Jegenstorf • Tel 031 762 06 62 • Fax 031 762 06 64 • <http://www.eisenhutinformatik.ch>