

Galileo et le prix de la mobilité.

Article publié dans le journal « Route et trafic » de la VSS – Mars 2005

Pierre-Yves Gilliéron

Ing. Dipl. EPFL

Adrian Waegli

Ing. Dipl. EPFL

EPFL - Laboratoire de Topométrie

1015 Lausanne

La monétarisation de la mobilité est un thème qui préoccupe un grand nombre d'acteurs du domaine routier. Quels concepts et quelles technologies ? Comment les faire accepter ? Nombre de questions restent à résoudre. Et que peut apporter la navigation par satellites ? Utopie ou gage de confiance ? Cet article aborde quelques chemins croisés entre navigation et taxe routière.

Mobility Pricing im Bereich des Strassenverkehrs ist ein heiss diskutiertes Thema. Welche Konzepte und welche Technologien sollen angewendet werden? Was bringt die Satellitennavigation? Und wie können diese Ideen und Techniken eingesetzt werden, damit sie von allen Beteiligten akzeptiert werden? Der vorliegende Artikel spricht diese offenen Fragen zwischen Navigation und Strassengebührerhebung an.

1 Introduction

La charge du trafic routier est une préoccupation majeure des autorités de nombreux pays, soucieuses de régler les problèmes de congestion et de réduire la pollution, tout en préservant la liberté de se déplacer avec le moyen de transport de son choix. En raison d'une concentration de la demande, les infrastructures routières atteignent souvent leur limite de capacité aux heures de pointe. Comme toute extension du réseau routier apparaît difficilement envisageable à terme, il s'agit de mieux répartir cette charge ponctuelle de trafic dans l'espace et dans le temps. Ainsi, une des solutions pour un meilleur usage de la route pourrait être la monétarisation de la mobilité. [Lichtsteiner, 2004]

Celle-ci trouve par exemple son application dans les taxes prélevées pour l'usage d'une route, le passage d'un tunnel ou la traversée d'un pont (road pricing). Les moyens mis en œuvre pour encaisser ces taxes, sont le plus souvent liés à l'infrastructure routière, comme les péages. Ainsi, on contrôle le passage des véhicules en un point précis et physique, que l'on peut considérer comme un point de mesure.

Un autre moyen de contrôle consiste à effectuer la mesure à l'aide d'instruments embarqués à bord du véhicule. Ainsi on limite la création d'infrastructures de péage et on remplace les points de mesure physiques par des points de mesure virtuels. Parmi les instruments de mesure, on trouve les méthodes de localisation par satellites, comme le GPS américain, le système russe GLONASS et le futur système européen Galileo.



Illustration 1: Satellite EGNOS (European Geostionnary Navigation Overlay Service), une première étape de la navigation européenne pour les transports (source ESA)

Cet article a pour objectif de présenter quelques caractéristiques d'un système de taxe routière et de les mettre en relation avec les performances des systèmes de navigation par satellites, notamment dans la perspective du développement de Galileo.

2 Exigences d'un système de taxe routière

La taxe routière a pour objectifs de générer des revenus et de mieux gérer les congestions de trafic. Il existe plusieurs types de taxes routières selon qu'elles s'appliquent à un tunnel, à un pont, à un tronçon routier ou à une agglomération. On distingue les types suivants¹ :

- Péage (Road tolls) : taxes directement liées à l'usage de l'infrastructure (pont, tunnel, tronçon d'autoroute). En général, elles sont liées au coût de l'ouvrage et à sa maintenance.
- Taxe en fonction de la congestion (Congestion pricing) : taxe variable se référant à la charge effective de trafic. Cette taxe a pour but de réduire les pics de congestion en incitant certains usagers à différer l'heure de leur trajet. Elle peut être liée à une voie de circulation spécifique (Value prices lanes)
- Taxe liée à une région (Area tolls) : taxe perçue lors de l'entrée dans une région particulière (centre ville)
- Taxe liée au parcours (Distance-based charges) : taxe perçue en fonction de la distance parcourue par l'usager de la route.

Ces principaux types de taxes sont caractérisés par des variables spatiales et temporelles qui peuvent avoir une incidence directe sur le montant prélevé. Dans la perspective de mesurer la mobilité grâce aux systèmes de navigation par satellites, il s'agit de préciser les exigences en termes de localisation du véhicule sur le réseau routier.

Type de taxe	Précision de localisation	Paramètres mesurés	Mode de mesure	Mesure de la date et heure	Technologies
Péage	Moyenne	Position	Ponctuel	Non	GNSS
Congestion	Haute	Série de positions et/ou distance parcourue	Intermittent et/ou continu	Oui	GNSS + MM
Région	Moyenne	Série de positions	Intermittent et/ou continu	Oui dans certains cas	GNSS + MM
Parcours	Haute	Série de positions et distance parcourue	Continu	Oui dans certains cas	GNSS + MM + DR

Illustration 2 : Exigences de différents systèmes de taxes routières (MM : Map Matching, DR : Dead Reckoning)

Les exigences présentées dans le tableau 1 ne sont pas exhaustives, toutefois elles reflètent les principales caractéristiques que devront fournir des systèmes de mesure embarqués.

- Précision de localisation :

Une précision moyenne (30 m) doit permettre de localiser un véhicule dans les environs d'un point d'intérêt (péage virtuel). Une haute précision doit permettre de localiser un véhicule sur un axe de route (10 m), voire sur une voie de circulation (2 à 4 m).

- Mode de mesure :

¹ TDM Encyclopedia, Victoria Transport Policy Institute, <http://www.vtppi.org>

La mesure ponctuelle permet d'associer une position à un point d'intérêt ; la mesure intermittente permet d'associer plusieurs points à un couloir ou une région ; la mesure en continu permet d'associer un trajet à un réseau routier.

- Technologies :

GNSS sont les Global Navigation Satellite Systems (GPS, GLONASS, Galileo ainsi que leurs systèmes d'augmentation WAAS et EGNOS). Le Map Matching (MM) est une technique qui permet d'associer une position estimée à une carte routière numérique. Par ce procédé, on identifie le tronçon sur lequel l'utilisateur circule. Le Dead Reckoning (DR) est une technique d'estimation de parcours utilisée lorsque les GNSS ne peuvent plus fournir de positions. Elle se base sur la mesure de distance (odomètre) et d'orientation (compas, gyroscope) et permet ainsi d'interpoler le parcours entre deux points déterminés par GNSS.

3 Galileo

Galileo est la contribution européenne à la deuxième génération de systèmes de navigation satellitaires. Financé par la Commission Européenne et l'Agence Spatiale Européenne (ESA), le système est maintenant dans sa phase de développement et de validation et sera mis en service entre 2008 et 2010.

Galileo offrira 5 services : Un service « grand public » similaire à celui offert par GPS et GLONASS aujourd'hui. Cet « Open Service » sera gratuit et accessible à tout le monde avec trois signaux, dont la fréquence L1 qui est déjà utilisée par GPS. En plus, Galileo offrira quatre services novateurs :

- Commercial Service : un service commercial (proposé par des tiers) avec des frais d'utilisation et accessible aux utilisateurs autorisés.
- Safety of Life Service : un service pour des applications de sécurité critique (p.ex. l'aviation civile, transport de matières dangereuses) qui transmet de données d'intégrité.
- Public Regulated Service : différents services pour les services de sécurité et de protection. Les signaux sont codés et résistants au brouillage.
- Search and Rescue Service : service de secours qui améliore le système existant COSPAS/SARSAT.

	Open Service (OS)	Commercial Service (CS)		Public Regulated Service (PRS)		Safety of Life Service (SoL)
Couverture	Global	Global	Local	Global	Local	Global
Utilisateur	Utilisateurs privés (Trafic routier...), applications géodésiques	Services commerciaux (trafic routier, piétons, location based services LBS)		Applications militaires		Aviation civile, applications maritimes utilisateurs terrestres
Précision	15-35 m (1f), 4-8 m (2f)	5-10 m (2f)	< 10 cm - 1 m	4-6 m (2f)	1 m	4-6 m (2f)
Disponibilité	99% - 99,9%					
Intégrité	-	Service à valeur ajoutée		Oui		Oui
Accès	Gratuit	Données à valeur ajoutée	Corrections différentielles locales	Code de navigation et/ou données à valeur ajoutée	Corrections différentielles locales	Données à valeur ajoutée
Certification et garantie de service	Non	Garantie de service possible		Certification, garantie de service possible		Oui
Fréquences	E5a + E5b + L1	E5a + E5b + L1 + E6		L1 + E6		E5a + E5b + L1

Illustration 3: Services du futur système européen de navigation par satellites - Galileo

Bénéfices de Galileo pour des systèmes de taxation routière

Grâce à l'interopérabilité de GPS et de Galileo, le nombre de satellites visibles sera doublé. Ainsi la disponibilité de GNSS sera augmentée considérablement en région urbaine et dans les vallées alpines. Les deux systèmes resteront indépendants ce qui réduit la probabilité d'une interruption commune des deux services, augmentant ainsi la fiabilité de la localisation.

Galileo poursuit le but d'offrir un service mondial pour tous les transports qui nécessitent une certification. Le prestataire du service Galileo proposera aux utilisateurs une garantie de service,

favorisant ainsi l'usage de Galileo dans les applications de sécurité. L'intérêt de développer des services basés sur Galileo résidera probablement dans cette capacité de garantie de service, qui sera un atout pour des domaines reposant sur des bases légales ou administratives. On peut envisager de positionner certaines applications de taxes routières dans ce contexte, renforçant ainsi le caractère légal et le degré de confiance des utilisateurs dans le système.

Les nouveaux signaux modernes de Galileo permettront de nouvelles applications et augmenteront la précision de la solution de navigation. Grâce aux multiples fréquences qui seront offertes par Galileo, la précision de la solution de navigation pourra être améliorée d'un facteur 2-4. [Carel et al., 2003]

4 Spécifications d'un système de navigation par rapport aux exigences de la taxe routière

Les exigences d'une application (p.ex. d'un système de taxation routière) définissent l'architecture du système de navigation. Ainsi, un système de navigation satellitaire (GPS, GLONASS ou Galileo) peut être combiné avec d'autres moyens de navigation, par exemple des capteurs inertiels (odomètres, gyroscopes, accéléromètres...) afin de satisfaire les exigences d'un système de taxation routière. En revanche, des impératifs économiques peuvent dicter le choix du système de taxation routière en fonction des coûts des systèmes de navigation disponibles.

Un système de navigation doit satisfaire des exigences en précision, intégrité, continuité et disponibilité qui dépendent des exigences (légales, sécuritaires,...) de l'application.

Précision

Un système de navigation est suffisamment précis pour une certaine application si son erreur de position moyenne est inférieure à une tolérance dépendante des exigences de l'application en question. [Tiemeyer, 2002]

Plusieurs expériences ont montré que la précision actuel du GPS répond au critère de localisation sur un axe de route, mais n'est pas suffisante lorsqu'il s'agit de se localiser sur une voie de circulation. Ceci sera rendu possible grâce au système d'augmentation EGNOS (opérationnel en 2005) sous de bonnes conditions. Le système Galileo permettra également d'atteindre de telles précisions par l'intermédiaire de ses services. Cette gamme de précision rendra possible le déploiement de services de taxes basés sur la mesure embarquée de la position d'un véhicule (p.ex. Value Price Lanes). [Gilliéron et al., 2003]

Intégrité

L'intégrité est une mesure de confiance en l'information fournie par le système entier. Elle inclut la capacité d'un système à prévenir l'utilisateur, à temps, que le système ne peut pas être utilisé pour l'opération voulue.

Ces exigences sont souvent exprimées par un risque d'intégrité, lequel représente la probabilité que l'utilisateur enregistre une erreur de position plus grande qu'un niveau d'alerte, sans être informé dans un délai prédéfini (temps d'alerte). [Tiemeyer, 2002]

Cette mesure de confiance est à comparer à une exigence formulée par l'application de la taxe routière. La notion d'intégrité est fondamentale pour que les utilisateurs aient confiance dans le système de mesure et pour que l'opérateur, prélevant la taxe, puisse fournir une garantie de service. Pour certains types de taxe, une mesure basée uniquement sur les signaux des satellites sera possible, mais dans les applications plus exigeantes, il faudra combiner cette mesure nominale avec d'autres informations (MM, DR).

Dans le cas d'un système de taxation routière, l'intégrité du système est un facteur clé :

- L'opérateur du système doit se rendre compte des pannes de son système pour prendre les mesures nécessaires le plus vite possible en minimisant les pertes de revenu et en évitant des erreurs de relevé de taxes.
- Les usagers de la route exigent un système de taxation fiable, ils n'accepteraient pas de devoir payer pour des erreurs dues au système.

Disponibilité

La disponibilité est la capacité, pour les utilisateurs, de disposer du système. Elle dépend :

- de facteurs environnementaux : dans des vallées étroites, des tunnels et en forêt, les signaux GNSS ne sont pas disponibles ou seulement sporadiquement. Cette carence complique l'introduction d'un système de taxation lié à la distance parcourue ;
- du système lui-même : si les exigences demandées en termes de précision et d'intégrité ne sont pas remplies, le système n'est plus disponible.

Le facteur de disponibilité est sans doute le plus limitatif dans l'usage des techniques satellitaires pour le transport terrestre. Toutefois le gain sera important lorsque la constellation des satellites Galileo sera opérationnelle et pourra être combinée avec GPS. Les agglomérations et les régions montagneuses seront les principales bénéficiaires de cette interopérabilité. Toutefois, les GNSS resteront toujours inaccessibles dans des tunnels et leur disponibilité restera limitée dans les vallées étroites et les canyons urbains. Une combinaison de méthodes (MM et/ou DR) restera nécessaire pour certaines applications de taxe routière (Distance-Based Charges).

Continuité

La continuité qualifie l'état de disponibilité permanente du système pendant un intervalle de temps spécifié.

Ce facteur est déterminant pour les applications de navigation (atterrissage d'un avion) et pour le suivi de transports à risque ou de grande valeur. Pour les applications de taxe routière, le principe de mesure est souvent ponctuel ou intermittent, par conséquent un délai d'attente n'a pas un impact déterminant sur la qualité de la mesure. Comme pour l'intégrité et la disponibilité, les applications plus exigeantes auront recours à des moyens auxiliaires pour combler les lacunes du système satellitaire.

Concept d'intégrité

Avant de mettre en opération un système de taxation, ce dernier doit passer une certification afin de vérifier qu'il remplit les exigences. Lorsque le système est en fonction, l'opérateur doit être en mesure de déterminer son état de fonctionnement en permanence et de pouvoir vérifier la qualité des données reçues par les systèmes embarqués dans les véhicules. Ce paragraphe illustre un concept d'intégrité inspiré de l'aviation civile qui permet de procéder à ces vérifications [Waegli, Gilliéron, 2003].

L'erreur de position d'un système de navigation doit être estimée en temps réel afin de comparer son niveau de précision, d'intégrité, de disponibilité et de continuité avec les exigences de l'application. Cette précision peut être calculée de deux manières :

- En disposant de mesures surabondantes, par exemple des satellites redondants ou d'autres capteurs, il est possible de calculer différentes positions indépendantes. Celles-ci peuvent ensuite être comparées entre elles pour déterminer un indicateur de précision en temps réel. On parle alors de RAIM (Receiver Autonomous Integrity Monitoring).
- La précision d'une position peut être estimée lorsque l'on dispose d'informations sur la qualité du signal du système de navigation satellitaire. Aujourd'hui, cette information est transmise par des systèmes d'augmentation locaux (Ground Based Augmentation Systems GBAS) ou des systèmes d'augmentation satellitaires (WAAS ou EGNOS). Galileo sera le premier système satellitaire qui transmettra des informations sur la qualité de son signal tout en offrant une garantie de performance.

A partir de cette précision (en général un écart-type à 1σ), on peut calculer un niveau de protection avec une certaine probabilité (un multiple de l'écart-type, par ex. 3σ). Dans le cas d'un système de taxation routière, qui devrait permettre de déterminer la voie de circulation empruntée par un véhicule (p.ex. Value Price Lances), le système de navigation est disponible si le niveau de protection ne dépasse pas la distance entre deux voies routières.

L'estimation de la précision de la position est plus ou moins exacte. Si l'erreur vraie est plus grande que l'erreur moyenne estimée (1σ), l'erreur est sous-estimée. Dans ce cas-là, il est possible que l'identification de la voie empruntée soit fautive, on parle alors d'un risque d'intégrité: le système place le véhicule sur la voie de droite, alors qu'il pourrait être sur la voie de gauche. Ce risque d'intégrité cause donc directement des problèmes de taxation de l'usage d'une voie.

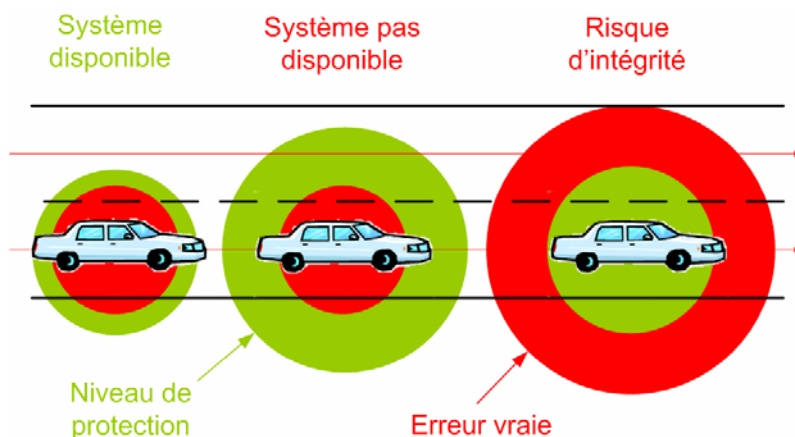


Illustration 4 : Visualisation de l'intégrité et de la disponibilité d'un système de navigation appliqué au domaine routier

5 Conclusion

Cet article a présenté un aspect technique de la monétarisation de la mobilité qui englobe plusieurs instruments. Selon les exigences des applications, il n'y a pas de solution universelle, par contre l'interopérabilité entre les technologies sera un atout indéniable et les méthodes satellitaires auront leur place dans ce contexte et viendront renforcer les méthodes de péage.

Galileo apportera sans doute des solutions novatrices qui permettront un haut degré d'intégration par l'intermédiaire des services à valeur ajoutée. L'introduction des méthodes satellitaires comme instruments pour la taxation routière se fera progressivement. De tels équipements sont encore relativement coûteux et c'est certainement l'industrie automobile qui dictera le marché lorsque ces technologies seront entièrement intégrées dans les véhicules. Pour être accepté, un système de taxe doit être simple, efficace et résistant à la fraude : c'est le défi que devra relever l'industrie afin de faire accepter cette technologie par les usagers.

Bibliographie

- [Carel et al., 2003], Carel, O., Blachier, B., de Vriès, M., *La nouvelle génération de navigation par satellite : EGNOS et Galileo au service des transports*, Revue technique de l'Institut français de navigation, Vol. 51, No. 203, Juillet 2003
- [Gilliéron, 2003] Gilliéron P.-Y., Konnen J., Enhanced navigation system for road telematics, STRC conference 03
- [Lichtsteiner, 2004] Lichtsteiner H., La monétarisation de la mobilité susceptible de fournir une part de solution, Route et trafic, 12/2004
- [Tiemeyer, 2002] Tiemeyer, B.: *Performance Evaluation of Satellite Navigation and Safety Development*. Euocontrol Experimental Centre, Report No. 370
- [Waegli, Gilliéron, 2003], Waegli A. et Gilliéron P.-Y., *Le Concept d'intégrité d'EGNOS*, Geomatik Schweiz, November 2003