

Pierre-Yves.Gillieron@epfl.ch
&
Quentin.Ladetto@epfl.ch

EPFL
Faculté de l'environnement naturel,
architectural et construit
Laboratoire de Topométrie

De l'évolution du GPS à la navigation pédestre

Introduction

Ces dernières années, les méthodes de localisation ont pris un essor important dans de nombreuses activités humaines. Connaître sa position a toujours été une préoccupation de l'homme qui a développé, au fil du temps, les moyens nécessaires pour s'orienter et se déplacer au bon endroit.

Si la carte et la boussole ont longtemps été les accessoires indispensables du navigateur ou du randonneur, les nouvelles technologies de localisation viennent les compléter. On pense évidemment au GPS comme étant LA méthode de localisation universelle, mais d'autres moyens existent et complètent le GPS dans les endroits où il est inopérant.

Les méthodes de navigation peuvent être classées en trois catégories: la navigation à vue, les méthodes basées sur l'estimation de parcours et la radionavigation. La première mé-

thode n'a pas besoin d'être décrite, mais la deuxième, bien connue des navigateurs, a recours à des moyens comme le compas (boussole), le loch (distance parcourue) et la carte, alors que la troisième s'appuie sur les propriétés des ondes radio.

Les méthodes de navigation à l'estime sont appliquées à l'ensemble du domaine des transports et, depuis peu, au domaine pédestre. Le principe de base n'a pas changé, seuls les instruments de bord varient selon l'application. Dans tous les cas, on mesure en continu un azimut et une distance parcourue que l'on reporte sur une carte.

La radionavigation a existé bien avant le GPS avec des systèmes terrestres comme le LORAN (<http://www.loran.org/>) et le DECCA. Aujourd'hui, les réseaux de téléphonie mobile offrent, par exemple, une infrastructure adaptée pour la localisation géographique des usagers de terminaux mobiles. D'autre part, des sociétés commerciales en collaboration avec les opérateurs de téléphonie proposent déjà des services basés sur la géolocalisation (LBS – *Location Based Services*) en ciblant des offres selon le lieu où se trouve l'utilisateur (fig. 1).

Du côté des satellites, le système américain GPS se modernise, tout en augmentant sa précision, et un projet européen de navigation par satellites a vu le jour sous le nom de GALILEO. Ces initiatives des pouvoirs publics et des sociétés

privées démontrent une volonté politique et économique de développer les activités liées à la navigation.

Cet article fait le point sur l'évolution de certaines technologies des systèmes de navigation.

- La première partie présente l'évolution du système GPS depuis la suppression de la dégradation volontaire et les systèmes de contrôle du GPS pour l'augmentation de la précision et de l'intégrité du système.
- La deuxième partie donne un aperçu des systèmes de navigation développés pour l'automobile ainsi que pour l'informatique mobile. On montre également la navigation pédestre avec toutes les contraintes d'un environnement urbain où le GPS seul ne suffit plus. Ceci a motivé les collaborateurs du laboratoire de Topométrie à développer un système de navigation autonome: le PNM – *Pedestrian Navigation Module*.



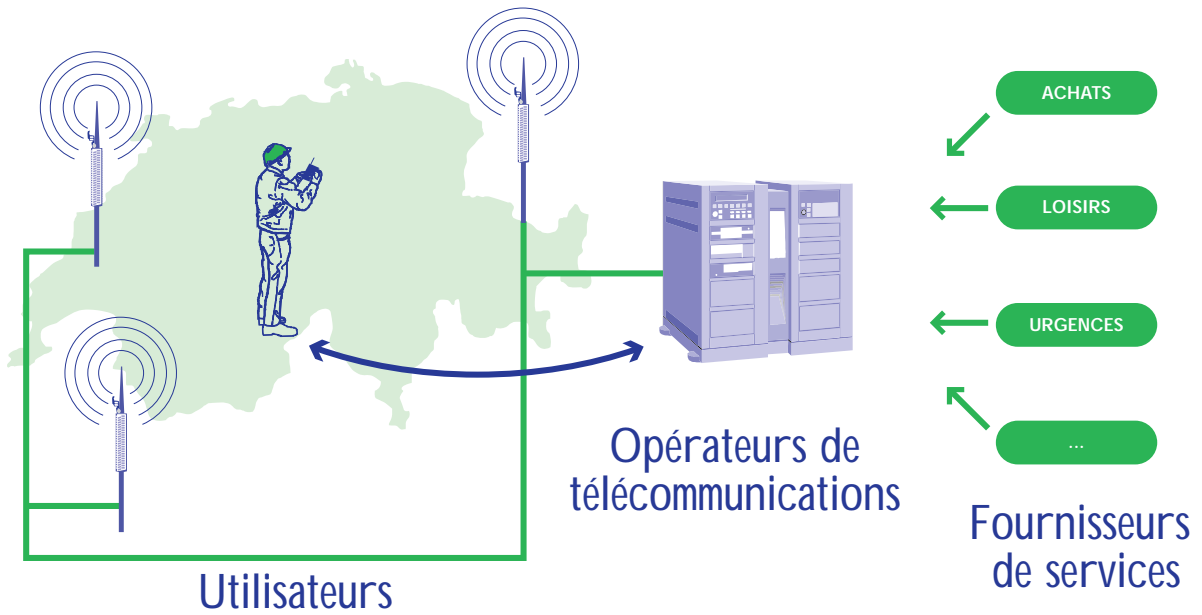


Fig. 1: architecture d'un service basé sur la géolocalisation

Le GPS depuis la suppression de la dégradation sélective

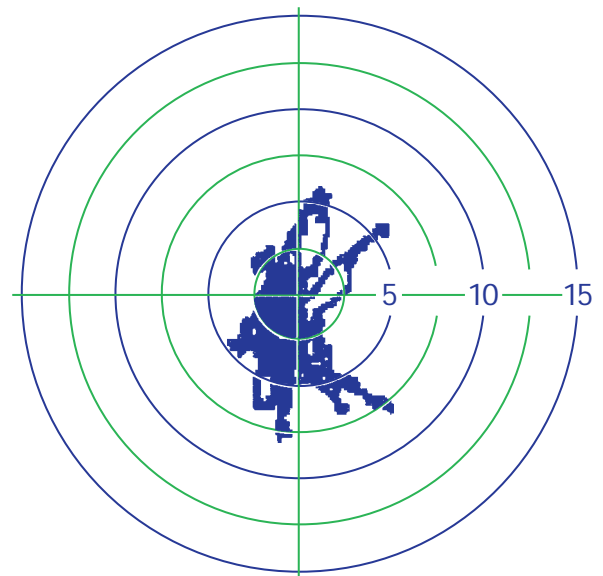
GPS absolu

Jusqu'en mai 2000, le système de localisation par satellites GPS était volontairement dégradé (SA – *Selective Availability*) sur la fréquence disponible pour les utilisateurs civils. Cette dégradation devait empêcher les utilisateurs d'obtenir une précision trop grande en mode absolu. La croissance des applications civiles utilisant le GPS a motivé une décision du congrès américain en 1996 de supprimer à terme la SA et de moderniser le système. Ainsi en mai 2000, le Président des USA a décidé de supprimer cette dégradation en offrant aux utilisateurs civils un moyen de localisation précis. Il faut toutefois rappeler que le GPS reste sous le contrôle des militaires nord-américains et que leur département de la défense se réserve le droit de modifier le service suivant les circonstances.

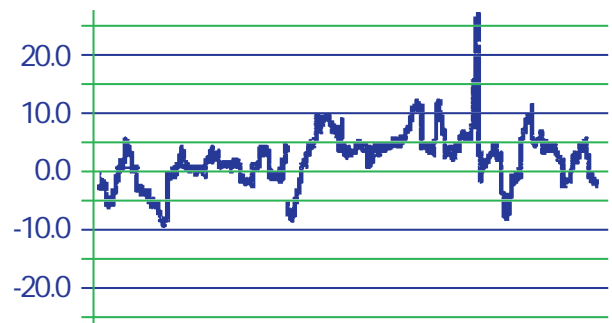
On peut alors se demander quelle est la précision du GPS à l'heure actuelle.

Suite à la suppression de la SA, de nombreux organismes ont procédé à des mesures afin d'évaluer la précision du GPS. Swisstopo (Office fédéral de Topographie) a effectué ses propres tests [Kummer, 2000] et a qualifié la précision de localisation pour différents types de récepteurs. Les valeurs de précision sont données avec une probabilité de 95% (2 Sigma). La figure 2 présente les écarts planimétriques et altimétriques par rapport à une valeur de référence et pour une période de 24 heures.

Pour un récepteur de loisirs de type Garmin 12XL, la précision planimétrique est de 9m et la précision altimétrique de 11m. Ces valeurs sont nettement meilleures lorsque l'on utilise un récepteur géodésique. C'est le cas pour le système GS50 de la firme Leica-Geosystems où la précision est de 6m en planimétrie et de 10m en altimétrie.



ABda: 20.05.00 00:00-00: UTC



ABda: 20.05.00 00:00-00: UTC

Fig. 2: précisions GPS après la suppression de la SA (source: Swisstopo)



Ces essais ont été réalisés dans des conditions idéales de réception avec un horizon libre d'obstacles pouvant interférer avec les signaux GPS. Mais la précision du GPS diminue fortement lorsque l'on est en présence d'éléments pouvant réfléchir les signaux (effet de multi-trajet) et lorsque le nombre de satellites est réduit. Ainsi, les régions urbaines restent un environnement où le GPS doit être utilisé avec certaines précautions.

Système DGPS

Avant mai 2000 de nombreux organismes nationaux et des sociétés privées ont mis en œuvre des services de corrections différentielles pour le GPS. Le fonctionnement d'un tel service s'appuie sur l'hypothèse que le bilan des erreurs sur les mesures GPS pour un endroit donné est le même que dans un rayon de quelques centaines de kilomètres.

En plaçant un récepteur GPS de référence sur un point fixe et connu en coordonnées, on peut calculer des corrections différentielles pour chaque satellite à intervalles réguliers. Il suffit ensuite de transmettre ces corrections aux utilisateurs qui peuvent les appliquer instantanément à leur mesures GPS. Les moyens de communication de ces correc-

tions DGPS sont multiples. On trouve des services sur la bande FM, dans la gamme des longues ondes, sur Internet et sur le réseau GSM. La norme RTCM 104 de radio-télécommunication marine régit les formats d'échange de ces corrections. Elle a été adoptée par tous les constructeurs de matériel GPS.

Le gain de précision est intéressant, particulièrement pour les utilisateurs qui doivent assurer une certaine qualité lors de travaux de cartographie ou d'inventaires de données spatiales. Dans ce cas un récepteur de géodésie est recommandé et on assure ainsi une précision (95%) de 1.5m en planimétrie et de 2.2m en altimétrie. La figure 3 présente les écarts planimétriques et altimétriques par rapport à une valeur de référence et pour une période de 24 heures.

La précision n'est de loin pas la seule caractéristique d'un système de navigation et pour certains utilisateurs ce n'est pas le paramètre le plus déterminant. Souvent, la couverture et la disponibilité sont des facteurs essentiels pour les applications où la sécurité est primordiale.

EGNOS: un service de localisation de qualité bientôt disponible

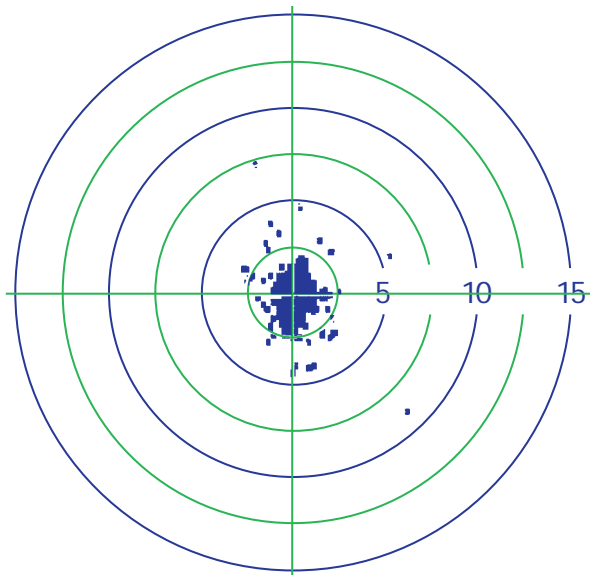
Le système de GPS peut présenter un dysfonctionnement sans que les utilisateurs en soient avertis. C'est ce qui s'est passé sur l'Atlantique Nord en 2001 lorsque soudainement la position fournie par le GPS a été décalée de plus de 100km.

Afin d'éviter ce genre de mésaventure, certains groupes d'utilisateurs ont décidé de créer leur propre infrastructure de contrôle civil (fig. 4). C'est le cas de la commission européenne en coopération avec l'agence spatiale européenne (ESA) et Eurocontrol qui ont décidé la réalisation du projet EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Les Européens ne sont pas seuls en course car ce projet fait partie du programme GNSS1 (Global Navigation Satellite System de 1^{ère} génération) qui contient d'autres services d'augmentation de GPS: WAAS (Wide Area Augmentation System) pour les Etats-Unis et MSAS (Multi-Transport Satellite based Augmentation System) pour le Japon.

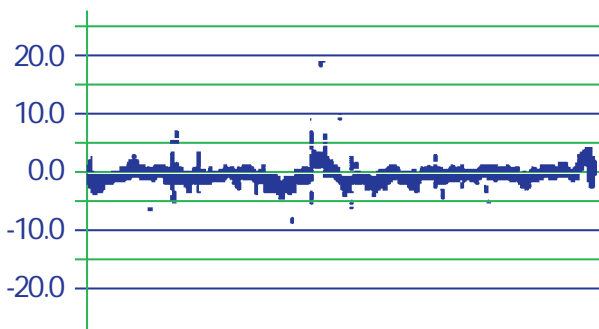
EGNOS est un système d'augmentation de la précision de GPS et de GLONASS (système russe), dont la constellation est complétée par trois satellites géostationnaires. Le service n'offre pas seulement des corrections différentielles, mais il apporte des informations sur l'intégrité du système.

L'intégrité est une notion fondamentale pour les domaines où la sécurité des personnes et des biens est une priorité. C'est le cas de l'aviation civile, qui a joué un rôle moteur dans la définition des systèmes d'augmentation. On peut définir l'intégrité comme étant la capacité du système à détecter une faute ou une panne en cours de navigation. La qualité et la précision des corrections, ainsi que d'autres paramètres, sont fournis en temps réel à l'utilisateur. En aviation, des niveaux d'alertes sont prédéfinis. S'ils sont dépassés, le pilote est instantanément averti.

L'architecture d'EGNOS repose sur 34 stations de référence au sol, de centres de calculs et de télécommunication, ainsi que des trois satellites géostationnaires. Les stations de référence enregistrent en permanence des informations, dont



PRda: 03.06.00 00:00-00: UTC



ABda: 20.05.00 00:00-00: UTC

Fig. 3: précision DGPS issue du service proposé par Swisstopo



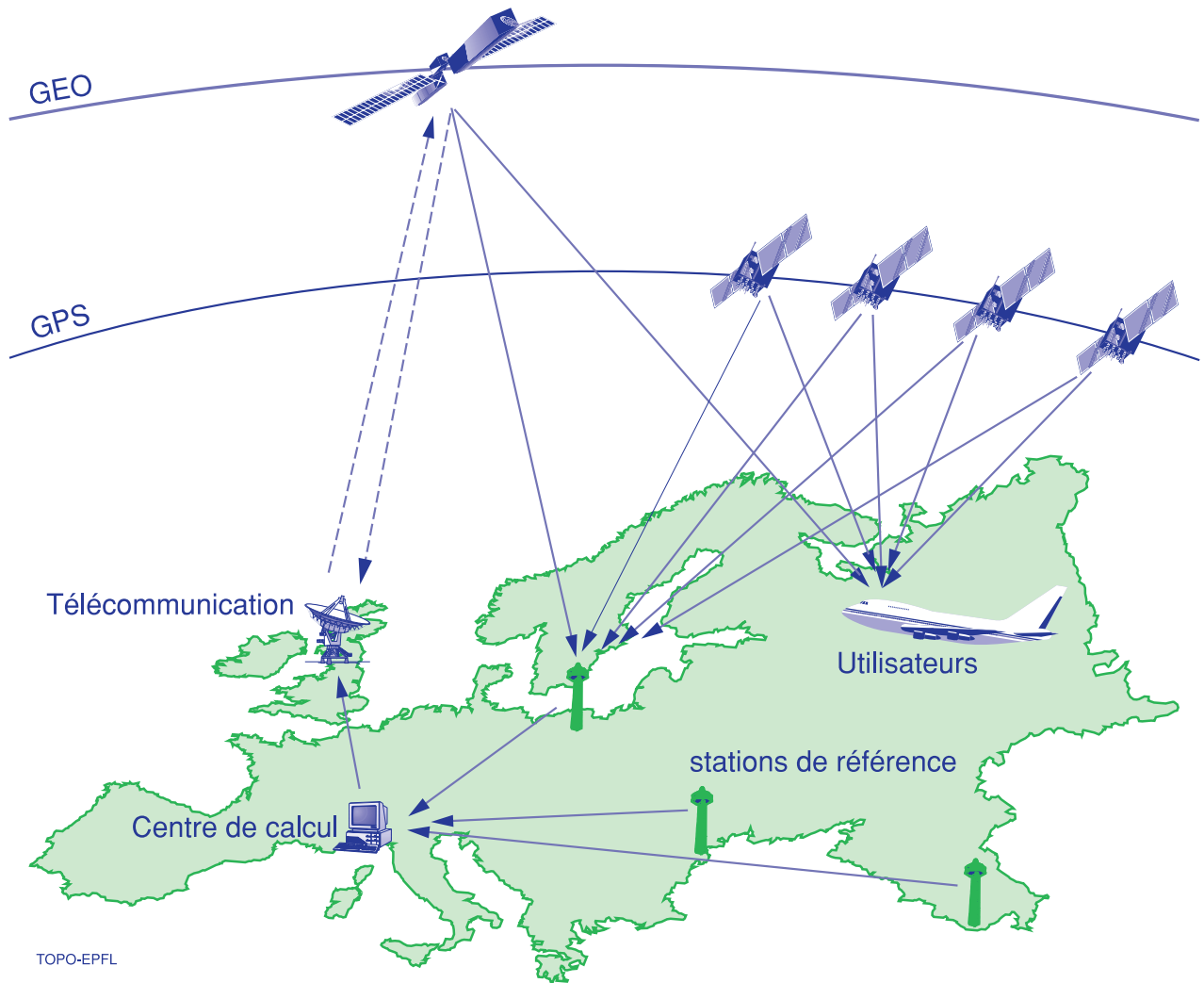


Fig. 4: architecture d'un système d'augmentation de GPS

les observations GPS. Les centres de calculs estiment les paramètres de corrections du GPS et génèrent les messages qui seront retransmis aux utilisateurs via les satellites de télécommunication.

La particularité de la diffusion des messages dans le programme GNSS1 est de ne pas avoir à disposer d'un récepteur particulier pour leur réception. L'ensemble des messages sera diffusé sur la bande L1 utilisée par le GPS. D'ores et déjà, des récepteurs GPS (Novatel, Garmin) offrent la possibilité de décoder et d'intégrer ces messages.

La date de mise en service d'EGNOS est fixée en 2004. Pour l'instant ce service est disponible dans une version réduite, sous le nom d'ESTB (EGNOS System Test Bed), à des fins d'évaluation.

Au printemps 2002, le Laboratoire de Topométrie de l'EPFL a pris part à certains essais à bord d'un véhicule évoluant sur le réseau routier. Les positions fournies par l'ESTB sont comparées à une trajectoire de référence de haute précision obtenue par le traitement en mode relatif de mesures de la phase GPS [Gilliéron, 1998] (voir fig.5).

Un tel service de corrections différentielles et d'intégrité trouvera certainement un large champ d'application dans tous les domaines des transports. Même si l'aviation civile est la plus exigeante, d'autres profiteront d'un service de qualité.

GALILEO: l'Europe entre dans le marché de la localisation par satellites

Le programme EGNOS a démontré le besoin de la communauté civile de créer son propre segment de contrôle de GPS. Toutefois, cette solution n'est pas entièrement satisfaisante pour donner à l'Europe une indépendance pour le développement de ses applications de navigation [Gilliéron, 1999].

Le projet GALILEO, qui vise à mettre en place le premier système de positionnement et de navigation par satellites conçu pour les besoins civils, répond à ces préoccupations. Ce projet, après de longues discussions des ministres européens des transports, vient de recevoir le feu vert et le compteur tourne pour sa réalisation.

Quand on sait qu'il a fallu près de 25 ans pour mettre en place toute l'infrastructure de GPS, le défi est de taille pour la Commission européenne qui propose un système opérationnel pour 2008.

GALILEO reposera sur une constellation de 30 satellites placés en orbite à 24'000 km d'altitude, couvrant la totalité du globe avec un réseau de stations de contrôle au sol. Chaque satellite sera doté d'une horloge atomique donnant



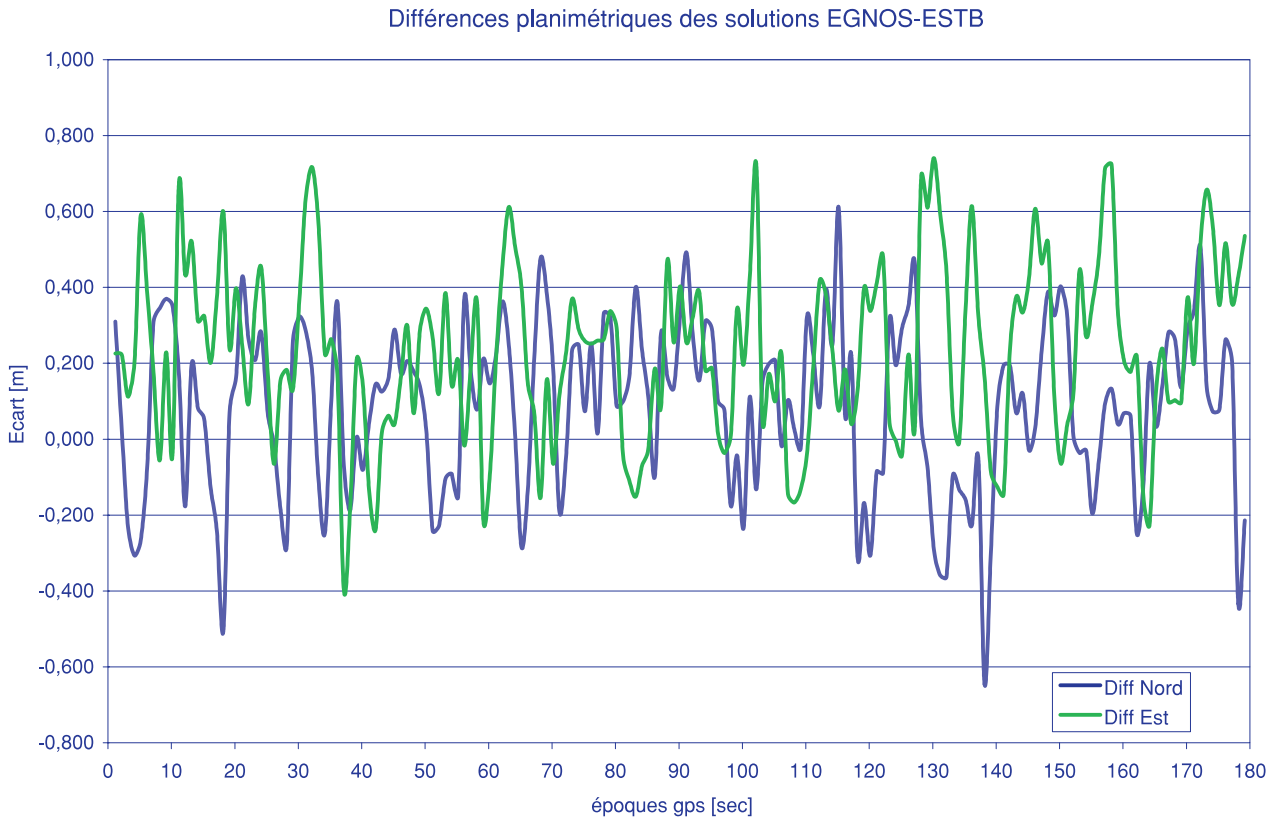


Fig. 5: analyse de précision des positions fournies par EGNOS-ESTB

une très grande précision dans la mesure du temps et qui permettra de localiser à **un mètre** près tout objet fixe ou mobile. GALILEO offrira plus de précision, une meilleure couverture et également un message d'intégrité dans le but d'informer immédiatement les utilisateurs des éventuelles erreurs qui peuvent apparaître.

GALILEO proposera plusieurs niveaux:

- service de base gratuit pour les applications de loisir et pour des services d'intérêt;
- service à accès restreint pour des applications commerciales et professionnelles nécessitant des performances supérieures;
- service à accès très restreint pour des applications qui ne doivent subir aucunes perturbations.

Les enjeux du développement de GALILEO sont cruciaux pour l'Europe, que ce soit en termes technologiques, économiques et, surtout, en termes stratégiques et politiques.

L'évolution des produits de positionnement et de navigation

La géolocalisation des mobiles pour les secours et la sécurité

Lorsqu'en octobre 1996, la commission fédérale américaine des communications (FCC) publia son rapport, celui-ci marqua le début d'une compétition acharnée dans la mi-

niaturisation des composants électroniques pour les récepteurs GPS. Elle mandata les fournisseurs de réseaux de téléphone mobile, afin qu'ils offrent des centres d'assurances permanents pour les appels d'urgence. En plus de relayer l'information vers les services adéquats (police, pompiers, ambulances, ...), les centres doivent être en mesure de délivrer la position exacte de l'appelant. Ce nouveau service, appelé E911 (*enhanced 911*) doit être totalement opérationnel au 31 décembre 2005. Connaître la position de tout utilisateur de téléphone mobile avec une précision variant, dans le 95% des cas, de 150 m à 300 m suivant le type de technologie utilisée, telle sera la conséquence directe de l'application de cette nouvelle loi.

Avec un marché de plus de 130 millions de personnes, il n'en fallait pas plus pour motiver l'industrie à réduire taille, poids et consommation des puces GPS de façon à les intégrer directement dans un téléphone portable.

Du premier récepteur *portable* de 1982 pesant plus de 25 kilos et consommant une puissance de 110 Watt, la miniaturisation ne s'est pas faite du jour au lendemain. En 1988 apparaissent sur le marché les récepteurs de poche, mais il faut encore attendre 10 ans pour qu'en 1999 on le retrouve à l'intérieur d'une montre comme celle développée par Asulab (www.asulab.ch). La taille actuelle des plus petits modules GPS varie aux alentours des 20 x 20 x 3 mm. L'entreprise suisse u-blox (www.u-blox.ch) joue un rôle de leader dans le domaine avec son nouveau récepteur TIM dont les versions précédentes étaient déjà intégrées aux produits de l'entreprise finlandaise Benefon (www.benefon.com).





Fig. 6: des récepteurs GPS à l'intérieur de nos objets quotidiens

Du GPS à la carte digitale

La connaissance de sa position uniquement n'étant pas toujours d'un grand secours, l'usage simultané de cartes digitales permet à l'utilisateur une meilleure orientation. La représentation graphique, les diverses fonctionnalités, ainsi que la taille de l'écran jouent ici un rôle primordial. Ces dernières considérations expliquent l'arrivée sur le marché des « Assistants Personnels Digital » plus connus sous leur dénomination anglophone comme PDA (Personal Digital Assistant). Qu'ils fonctionnent avec un système d'exploitation Palm OS ou Windows CE, tous présentent maintenant

la possibilité de connecter divers périphériques offrant d'innombrables applications.

Des récepteurs/antennes GPS intégrés sur des cartes CompactFlash transforment votre ordinateur de poche en un système de navigation complet. Ces applications permettent d'accéder aux cartes digitales de chaque pays. L'utilisateur peut visualiser la ville dans laquelle il se déplace et, à chaque instant, sa position est reportée sur la carte. Ces systèmes offrent de nombreuses fonctionnalités, dont le calcul d'itinéraires et le guidage.

Le partenariat établi entre l'ordinateur de bureau et l'assistant personnel vous permet de choisir exactement le contenu de la carte selon vos besoins. Dans la majorité des cas, cette opération s'effectue intuitivement puisqu'il suffit de délimiter la zone d'intérêt à l'écran et de la charger sur le PDA, la seule limite étant la capacité mémoire de ce dernier. Mais peut-on encore parler de limitation de mémoire lorsqu'un *micro-drive* augmente de quelques gigabytes la capacité mémoire de votre ordinateur? Les cartes digitales de Suisse, France, Belgique et Luxembourg confondus occupant un peu plus de 500 Mb, vous voilà parés pour une belle excursion.

Les PDA peuvent également recevoir des modules de télécommunication comme une carte GSM ou GPRS. Ces moyens de communication enrichissent votre système de navigation qui peut à chaque instant envoyer sa position à d'autres utilisateurs ou bien recevoir de l'information détaillée selon l'endroit où l'on se trouve.

Les serveurs de données spatiales sont en plein développement, ils pourront vous offrir une multitude d'informations sur le tourisme, les principaux commerces, l'état du trafic, les appartements en location, etc. Information, communication, localisation et traitement, voici les ingrédients des services basés sur la géolocalisation (LBS).



Fig. 7: l'information géographique devient de plus en plus conviviale et intègre toujours plus de traitements automatiques des données



Les systèmes de navigation de l'automobile au piéton

La navigation automobile

Appeler les systèmes de navigation pour l'automobile sous un nom générique de «GPS» est faux; c'est plutôt une astuce de marketing. Le GPS n'est qu'une composante utilisée par le système. En effet, le récepteur GPS peut uniquement indiquer une position, mais ne connaît ni les routes, ni les lieux, et encore moins les sens interdits. Le système complet doit donc recourir à des données digitales du réseau routier. Les routes principales et secondaires, ainsi que les dessertes ont été digitalisées avec une précision de quelques mètres (5 à 20m) par des sociétés privées comme Teleatlas et Navtech. Sur une telle carte, figurent, en plus des routes et chemins, parkings, hôpitaux, hôtels, gares, aéroports, giratoires, sens de circulation, et bien d'autres points d'intérêt. C'est aussi grâce à la carte et à sa base de données associée, que vous pourrez choisir le type de routes que vous désirez. Comme, par exemple, les routes ou autoroutes, le parcours le plus rapide ou le plus court.

Mais cela ne suffit toujours pas, pour une plus grande précision le système intègre bien souvent un gyroscope. Celui-ci lui permet de connaître certains mouvements du véhicule et de repérer ainsi les changements de direction importants, synonymes de virages. En confrontant cette information avec celle contenue dans les données de la carte, le système procède à un recalage en utilisant des algorithmes de *map-matching*. Cette technique est très utile lorsque le GPS ne fournit plus de positions (canyon urbain, tunnels). Une information odométrique est également utilisée, afin que le système connaisse la distance parcourue par le véhicule. Cette mesure peut être obtenue en intégrant la vitesse mesurée par le compteur du véhicule.

Avec cet ensemble d'outils, le système atteint une précision d'une dizaine de mètres, largement suffisant pour guider le conducteur dans un environnement urbain.

Comme on se l'imagine, un tel module conçu pour l'automobile n'est pas des plus facile à transporter. Comment peut-on rendre le tout portable de façon à ce qu'un piéton puisse connaître sa position même en l'absence de réception de signaux provenant des satellites ou du réseau de téléphonie mobile?

Vers une navigation pédestre

Se basant sur le même principe que celui développé pour les automobiles et reprenant le concept de la navigation à l'estime, **la navigation pédestre** se présente comme la dernière arrivée dans le monde de la géomatique. *Last but not least* serait-on tenté d'ajouter, tant les domaines d'applications sont multiples et variés. Des études de géo-marketing au guidage de personnes aveugles, du suivi d'alpinistes à la localisation de touristes dans une ville, du civil comme du militaire, la connaissance de sa position ne peut plus seulement dépendre de la visibilité simultanée de 4 satellites.

Si, comme mentionné, le principe de navigation à l'estime reste le même, les modèles utilisés sont, eux, totalement différents. A la constance de la circonférence d'une roue s'oppose la taille du pas humain qui peut varier de quel-

ques dizaines de cm selon les circonstances. En cumulant cette source d'erreur sur des milliers de pas, l'incertitude sur la distance parcourue croît rapidement. A cela vient s'ajouter la problématique de l'azimut de déplacement qui peut, selon les mouvements (pas arrières, pas de côté, ...), différer de l'azimut mesuré.

Afin de résoudre ces nombreux défis, deux travaux de doctorats [Gabaglio, 2002; Ladetto, 2002] se sont déroulés au Laboratoire de Topométrie du professeur Bertrand Merminod. Après 4 ans de recherches et quelques centaines de kilomètres parcourus dans diverses conditions (ville, forêt, bâtiments, plages, etc.), un produit commercial voit le jour. Fruit d'une étroite collaboration avec Leica Vectronix, le PNM – *Pedestrian Navigation Module* conjugue un récepteur GPS, 3 accéléromètres, 3 capteurs magnétiques et un baromètre pour un poids inférieur à 50 grammes. De la même taille qu'un paquet de cigarette, il se place à la ceinture et fournit à l'utilisateur, pas après pas, ses coordonnées. Délivrante l'information géographique dans un format standard (NMEA- *National Marine Electronics Association*), son interfaçage avec tout logiciel de navigation permet une représentation visuelle de sa position ainsi que le suivi d'un itinéraire ou d'une trajectoire prédéfinie.



Fig. 8: le PNM (Pedestrian Navigation Module): un système de localisation tridimensionnelle miniaturisé (74 x 48 x 18 mm) complet pour moins de 50 grammes

Principes de fonctionnement

A l'instar des empreintes digitales, chaque personne a un profil de marche qui lui est propre. Ainsi, si le contenu fréquentiel varie autant, l'établissement de tout modèle général nécessitera obligatoirement un processus de normalisation. Normalisation, parce que la fréquence de pas, lors de déplacement sans contraintes, est à peu près semblable pour tous les individus. Les paramètres seront ensuite automatiquement adaptés, afin de décrire au mieux le style de marche de la personne. Les différences de vitesse pour une même fréquence sont donc une conséquence directe de la taille des pas. L'hypothèse que la taille des pas est proportionnelle à la taille de la personne ou, plus justement, à celle de ses jambes, est raisonnable. En normalisant la vitesse de déplacement en fonction de ces paramètres, il est donc théoriquement possible de passer de modèles individuels à un modèle plus universel. Cependant, une personne marchant à une fréquence donnée n'effectue pas toutes ses enjambées de la même longueur. La variabilité des foulées en référence à une constante, chez une même personne et à une fréquence don-



née, est de fait impossible à prédire. Le but ne sera donc pas de modéliser un événement « pas » de manière précise, mais de reproduire une distance parcourue, composée d'un ensemble de pas, le plus fidèlement possible.

Cette approche se base sur un concept pouvant s'énoncer de la manière suivante: "Pour une fréquence de pas donnée, la taille des pas chez une même personne peut être considérée comme constante. La variation naturelle de ceux-ci suit une loi normale centrée à l'origine et dont la variance est inversement proportionnelle à la fréquence de marche". Cela signifie qu'à un pas plus long correspondra un pas plus court, ramenant ainsi la distance parcourue en un nombre déterminé de pas, pour une fréquence donnée, à une valeur considérée comme constante. Les écarts de longueurs entre deux pas successifs seront, eux, autant plus importants que la vitesse et la fréquence de pas seront lentes.

Le déplacement d'une personne peut être perçu comme similaire à une polygonale (ou cheminement) en topométrie. La distance entre deux points correspond à une enjambée, alors que l'angle permettant d'aller d'un point à l'autre est tout simplement l'azimut de déplacement.

Les perturbations magnétiques influençant grandement la qualité de l'azimut calculé avec le compas, une détection de celles-ci est nécessaire. On les identifie par l'utilisation d'un gyroscope. Ce dernier, basé sur un principe physique différent du compas, fournit un azimut fiable même en présence de perturbations magnétiques. Selon l'information et les données disponibles, divers traitements sont effectués. Les deux points de rattachement aux extrémités de la polygonale sont des positions géographiques connues ou obtenues par mesures GPS (fig.9).

L'intégration de données GPS permet, non seulement, une localisation absolue de la personne, mais également le calibrage du modèle de marche, ainsi que le défaut d'alignement du PNM avec l'axe de marche. Par contre, il n'est pas

nécessaire de recourir aux signaux GPS pendant le parcours. En effet, une précision inférieure à 5% de la distance parcourue (1% - 2% dans des cas favorables) peut être garantie en toute autonomie.

Conclusion

Cet article a fait un tour d'horizon de l'évolution des méthodes de localisation par satellites et des systèmes de navigation autonome. De nombreuses initiatives sont en cours afin d'améliorer la précision, la fiabilité et la disponibilité de l'information de positionnement et de navigation. Des domaines très exigeants en matière de sécurité, comme l'aviation civile, auront recours à ces méthodes de localisation, grâce au haut degré d'intégrité des systèmes.

Pour les utilisateurs terrestres, la couverture offerte par les systèmes de radionavigation n'est pas toujours suffisante. Il existe alors des alternatives aux méthodes satellitaires qui combinent divers capteurs de navigation en voiture ou à pied.

Connaître sa position en tout temps et de manière autonome n'est vraiment utile que dans un contexte où cette donnée n'est qu'une composante d'un dispositif plus complexe. En couplant la position tridimensionnelle d'une personne à une carte numérique ou à un système d'information géographique, l'exploitation de la base de données associée fournit alors des indications sur l'environnement direct de la personne.

Finalement, les divers systèmes de positionnement et de navigation offrent une redondance dont tous les utilisateurs peuvent bénéficier. Une certaine concurrence est toujours utile afin de réguler les prix du marché et éviter ainsi une situation de monopole. Un système de positionnement et de navigation est un instrument stratégique et il est préférable pour le citoyen qu'il ne soit pas unique et contrôlé par

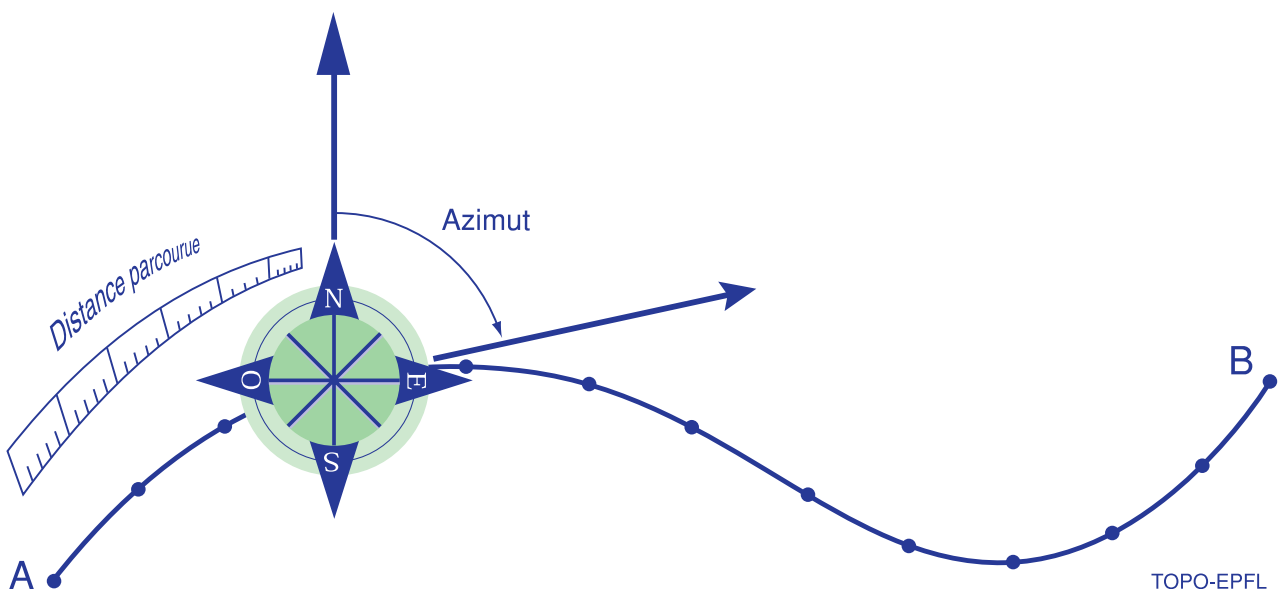


Fig. 9: principe de la navigation à l'estime





Fig. 10: navigation à l'estime effectuée par un aveugle en plein centre ville de Lausanne

un seul état. La liberté de se déplacer fait partie des aspirations majeures de la plupart des gens et on se sentira encore plus libre si l'on peut choisir son système de navigation et assurer son autonomie.

Références

- **Kummer Patrick** (2000), *Mesures GPS après la suppression de la SA*, Rapport technique, Office fédéral de Topographie.
- **Gilliéron P.-Y.** (1998), *Le GPS, vers une banalisation du positionnement?*, Flash informatique EPFL, <http://www.epfl.ch/SIC/SA/publications/FI98/fi-5-98/5-98-page1.html>.
- **Gilliéron P.-Y.** (1999), *GNSS2: vers un système européen de navigation par satellites*, Mensuration, Photogrammétrie et Génie Rural 01-99.
- **Gabaglio V.** (2002), *GPS/INS System Integration for Low-Dynamic Application*, Thèse de doctorat EPFL, in prep.
- **Ladetto Q.** (2002), *Capteurs et algorithmes pour la localisation autonome en mode pédestre*, Thèse de doctorat EPFL, en préparation.
- **Ladetto Q., Merminod B.** (2002), *Digital Magnetic Compass and Gyroscope Integration for Pedestrian Navigation*, 9th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, Russia, May 27-29.

Liens intéressants

- Laboratoire de Topométrie: <http://topo.epfl.ch>
- Office fédéral de Topographie – Swisstopo: <http://www.swisstopo.ch>
- ESA - navigation: <http://www.esa.int/export/esaSA/navigation.html>
- EGNOS-ESTB: <http://www.esa.int/export/esaEG/estb.html>
- GALILEO: http://europa.eu.int/comm/energy_transport/en/gal_en.html
- Leica-Vectronix: <http://www.leica-vectronix.com/>
- Suppression de la SA: http://www.ngs.noaa.gov/FGCS/info/sans_SA/ ■

