

# r.a.t.p. G.P.S. et transport en commun



Photo Marguerite

Un poste à Denfert-Rochereau

*D'un poste central, localiser dans la région parisienne un autobus à 10 mètres près. Délivrer l'information aux voyageurs en temps réel. Réguler la marche du véhicule avec ces informations. Savoir à la minute près l'horaire des arrêts. Intervenir immédiatement pour la sécurité.*

*Il y a moins de 10 ans, cet article aurait relevé de la science-fiction.*

Depuis le mois d'avril 1995, et après 2 premières expériences de radiolocalisation menées en banlieue parisienne sur les lignes 256 et 272 (AIGLE), la RATP a mis en service sur la ligne d'autobus 47 (Gare du Nord/Villejuif) un système de suivi dynamique des autobus par satellite, ALTAIR.

Ces applications, basées sur un principe de localisation original développé par la RATP permettent, indépendamment de la topographie (voirie souterraine, bâtiments de grande hauteur, rues étroites,...) de localiser à 10 mètres près chaque autobus de la ligne. Cette localisation extrêmement précise permet, d'une part, d'afficher aux points d'arrêts le temps d'attente réel des 2 prochains autobus à la minute près, d'autre part de délivrer aux voyageurs une information régulière et fiable en cas de situation perturbée et enfin elle permet au personnel d'exploitation de régler au mieux la progression des autobus de la ligne.

Ces 2 applications (AIGLE et ALTAIR) sont basées sur l'utilisation du GPS.

Les autobus équipés d'un récepteur, transmettent leur position à un serveur central. Cela permet une mise à jour continue de l'information destinée aux clients de la ligne et une meilleure connaissance en temps réel de la ligne pour le personnel chargé de la régulation.

Enfin, cette localisation extrêmement fine raccourcit les délais d'intervention des équipes de sécurité de la RATP lors de leurs interventions en cas de difficulté.

Les points d'arrêt des autobus de la ligne 47 sont équipés d'afficheurs (écrans à cristaux liquides et 2 lignes de 18 caractères chacune) munis de batteries autonomes. Ils reçoivent par radiodiffusion les informations à afficher.

Cette autonomie en énergie, ainsi que leur faible encombrement, facilite leur entretien et permet facilement leur déplacement en cas de travaux notamment.

Une extension éventuelle de l'application ALTAIR à d'autres lignes de la RATP ne nécessiterait donc aucun travaux de voirie.

Après l'évaluation de cette phase en grandeur nature sur la ligne 47 (ALTAIR), ainsi que celles liées aux lignes 256/272 (AIGLE), et grâce à la centaine de véhicules actuellement équipés pour les 2 applications (autobus et véhicules des services de sécurité de la RATP), un bilan complet sera établi, apportant toute aide à la décision pour une éventuelle extension de ces systèmes à une grande partie des 260 lignes d'autobus exploitées par la RATP.

ALTAIR est une application destinée à la régulation du trafic des autobus (système d'aide à l'exploitation) et à l'information (système d'information des voyageurs).

AIGLE est une application destinée à la localisation précise et immédiate d'un véhicule pour une intervention rapide.

Ces applications utilisent les mêmes outils de radiolocalisation des véhicules, avec les mêmes exigences :

## 1) la localisation des véhicules

- qui doit être réalisée en continu, indépendamment de la topographie (villes, gares routières couvertes, souterrains...)
- qui doit être indépendante de l'itinéraire de la ligne d'autobus
- qui doit avoir une précision de 10 mètres

## 2) l'économie du projet

- qui exclut le déploiement d'infrastructures au sol.
- qui implique que tous les éléments permettent la localisation soient standardisés.

Ces applications spécifiques ont été développées par la RATP, les entreprises SAGEM et GTMH et en ont assuré l'industrialisation et la commercialisation aux termes d'un marché où ces deux industriels forment un groupement solidaire : CITYLOC.



# Aide à l'atterrissage des avions par D-GPS

Pascal Brion

Géomètre-Topographe GPS

"ALTITUDES" - Bureau d'Etudes GPS

## INTRODUCTION

Créé à l'origine pour guider les missiles à long rayon d'action, le système de navigation par satellites apparaît très vite comme le moyen de navigation des prochaines années pour l'aviation commerciale. Utilisé avec succès pendant la guerre du Golfe, le G.P.S. fait office de «Sextant de l'an 2000».

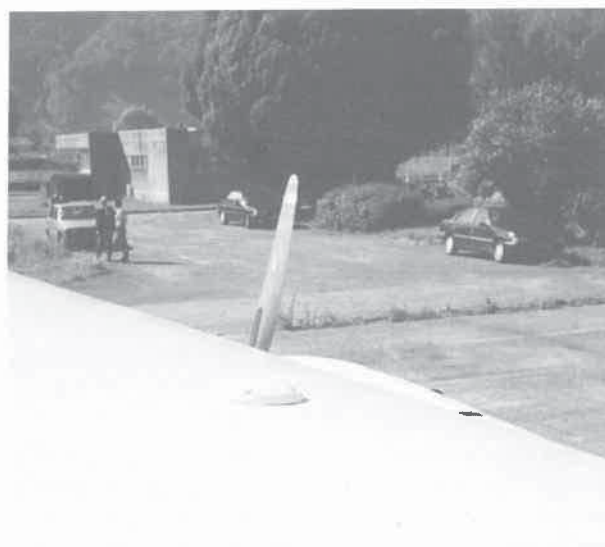
## HISTORIQUE

Initié en 1973 par le Département of Défense américain (DoD), le GPS est peu coûteux et très précis. Il a convaincu les compagnies aériennes et les autres usagers du ciel ou de la mer bien avant les autorités de l'aviation civile. En effet, le DoD a accordé la gratuité d'accès à ce système jusqu'en l'an 2003. Cet argument commercial de poids semble avoir occulté la question du "verrou" sur le trafic aérien mondial que les Américains s'octroient en pouvant fermer subitement l'accès. En Décembre 1983, le Ministère des Transports américain est devenu co-gestionnaire du système sans pour autant en supporter le coût de mise en place.

En Août 1994, la Federal Aviation Administration (FAA) a retenu ce système de navigation pour assurer le contrôle du trafic aérien. Le Microwave Landing System (MLS), destiné à supplanter l'Instrument Landing System (ILS), est ainsi définitivement enterré. Le MLS devait remplacer les ILS de façon plus avantageuse avec notamment une utilisation plus large permettant des approches courbes. Mais par mauvais temps, ce système s'avère très insuffisant par rapport au GPS. Par ailleurs, les moyens RNAV permettent les mêmes approches courbes. Le GPS américain pourrait être complété par le Global Orbital Navigation Satellite System (GLONASS) russe, mais qui ne fonctionne pas avec le même signal. C'est pour cette raison que l'OACI consacre de nombreux efforts à promouvoir le Global Navigation Satellite System (GNSS) qui rassemble toutes les solutions de navigation par satellites.

## ENVIRONNEMENT

Pour l'instant, seul le DoD offre un service opérationnel standard d'une précision de 100 mètres (précision



L'antenne GPS sur l'avion

volontairement dégradée pouvant être ramenée à moins de 30 mètres en temps de guerre). Valeur insuffisante pour l'atterrissage aux instruments, les autorités aéroportuaires doivent s'équiper d'une balise différentielle (G.P.S. Différentiel, ou D-GPS)

## LOGISTIQUE

Il s'agit d'installer au sol un récepteur fixe, qui «écoute» les satellites, et mesure l'erreur de position transmise. Il diffuse alors un message de correction aux avions sous des formes différentes (RTCM 104 Super C/A™ ou différentiel de phase), par l'intermédiaire d'une liaison radio la plus fiable possible. Par rapport à un ILS classique, le D-GPS permet en plus toute une palette d'effets spéciaux tels que des approches courbes ou des remises de gaz automatiques.

## UTILISATEURS

Le Département des Essais en Vol (DEV) de l'Aérospatiale utilise les deux formes de DGPS pour leur mesures. Les mesures en temps réel sont assurées par les corrections de codes des pseudo-distances Super C/A™ issues du récepteur Ashtech Z-12, le point de base étant situé sur un autre dont les coordonnées géodésiques sont parfaitement référencées dans le système mondial. Le récepteur Ashtech Z-12 placé à bord de l'avion reçoit alors en temps réel les corrections calculées par le récepteur base, le transport des corrections est assuré par une liaison radio composée de modems très fidèles. Les positions temps réel calculées par le récepteur bord ont une incertitude de 1 à 2 mètres grâce à la technologie Ashtech Super C/A™, ce qui permet de donner une référence de position dans l'espace pour les autres instruments qui ont besoin de certains paramètres de positions. De plus, les récepteurs Ashtech Z-12 enregistrent à une cadence de 5 Hz toute les informations (L1C/A, L1P/Y et L2P/Y) issues des satellites en vue, afin de pouvoir post-traiter les mesures et de restituer les mouvements de l'aéronef avec une précision de 2 à 5 cm dans les trois axes. Tout cela permet de valider la précision et les réactions de l'avion en phase d'atterrissage.

Eric Radcliffe a rejoint TML en octobre 87 pour diriger, côté anglais, les travaux topographiques. Formé à la profession au Collège Technique de Brighton, le Southampton Ordnance Survey, et au Collège Technique de South - West Essex, il est un collègue des Surveyors de l'Institution d'Engineering Civile. Depuis 1949 sa carrière l'a entraîné dans plusieurs contrées du monde et lui a permis de participer à plusieurs projets importants parmi lesquels le projet de routes en Iran, le projet Kainji sur le fleuve Niger, le barrage Hassan Addakhil au Maroc, le développement hydro-électrique de Kamburu au Kenya et le développement de la cité industrielle de Yanbu en Arabie Saoudite, (Coincidentally). Il a été le surveyor principal du dernier projet du tunnel abandonné en 1975.

Les grands projets de Génie Civil ont toujours à l'origine de leur réussite le travail d'une équipe, toutes hiérarchies confondues. Curieusement cette équipe intègre mal le topographe. Pourtant celui-ci est présent à tous les stades du travail, y compris en avant-projet et pour la vérification et la maintenance.

Dans la présentation d'un texte sur le pilotage topographique des tunnels (les leçons techniques du chantier du tunnel sous la Manche - CEIFICI - les 15 et 16 mars 1995), Jean-Jacques Morlot, l'un de nos lauréats, concluait ainsi son texte : *"Une construction très proche du tracé théorique initial engendrera non seulement un*

*gain de temps en évitant de relisser le tracé, mais permettra également de réduire quelque peu les tolérances de construction sur les travaux futurs, comme c'est le cas sur les tunnels en construction actuellement, où ces valeurs sont descendues jusqu'à  $\pm 10$  cm, entraînant ainsi une réduction de diamètre des machines, une diminution du volume à excaver, et du béton à mettre en œuvre.*

*La mise en place des équipements demande des précisions plus serrées que pour le génie civil : la longévité des voies ferrées par exemple, dépend en partie de la qualité de son positionnement dans l'espace. Les relevés de la voiture Mausin de la SNCF ont confirmé en effet que les voies TransManche ont été réglées au mm près. Outre le gain en silence et en confort pour les passagers, les coûts d'entretien seront réduits et la durée de vie des rails serait portée à 700 millions de tonnes avant remplacement. Nous constatons donc, que si la topographie ne produit pas directement, elle peut, par la qualité de ses résultats, réduire considérablement les coûts. Donnons donc aux topographes les moyens d'intervenir rapidement et d'une façon autonome sur le site. Car curieusement, la plus grande difficulté n'a pas été d'ordre technique, car appréhendée à l'avance. Elle a bien été celle de s'intégrer complètement aux équipes de production, et de se faire admettre comme maillon indispensable à la construction des tunnels."*

#### **L'ALLOCATION DE DENIS HILL, DIVISIONAL PRESIDENT LAND AND HYDROGRAPHIC SURVEY DIVISION - RICS**



*En compagnie du Président de l'AFT, André Bailly*

C'est un honneur et un privilège de représenter le RICS à cette cérémonie où nous distinguons les topographes/surveyors de France et d'Angleterre pour le travail, effectué afin que nos deux pays soient reliés par la terre ferme par le biais du tunnel sous la Manche.

Une union qui rapproche la Grande Bretagne de l'Europe par l'accès qu'elle permet à toutes les grandes villes du continent, et le contact des populations.

C'est aussi un moyen de renforcer les liens entre les membres de la communauté des ingénieurs dans chaque pays. En décembre dernier l'AFT et le RICS ont organisé ensemble la 3ème CITOP, conférence sur le thème "Géodésie et topométrie des grands projets linéaires" tels que le tunnel sous la Manche. Cette conférence, débutée à Paris, s'est achevée à Londres et c'était la première fois qu'une manifestation de ce type avait lieu, et elle a rencontré un franc succès. Tous les participants sont prêts à approfondir les liens établis lors de cette conférence, et l'invitation qui m'a été faite pour participer à cette cérémonie conforte cette volonté et témoigne du renforcement des

liens entre l'AFT et le RICS.

Des deux côtés du tunnel, avec des données différentes, le savoir-faire des topographes/surveyors s'est concrétisé par la réussite, non seulement du tunnel, mais aussi de l'infrastructure commune.

Je sais que de nombreux problèmes vont apparaître et l'on doit réfléchir à la façon de les résoudre. La réussite du tunnel et le lien ainsi créé sont la preuve du talent des surveyors. Je félicite tous ceux qui ont participé à ce prestigieux projet et je fais miennes les paroles prononcées ce soir au sujet des résultats. Je félicite particulièrement les lauréats du trophée.

# Les topographes du génie civil à l'honneur

*A l'occasion de la rencontre IREX-AFT, l'AFT a remis la médaille du Tunnel sous la Manche aux topographes anglais et français qui ont assuré le pilotage des forages.*

Bien qu'il soit à la base et indispensable à de nombreuses réalisations humaines, le topographe, qui est pourtant celui qui mesure et qui positionne, n'a pas toujours la place qui lui revient dans la panoplie des réalisateurs du Génie Civil. Ainsi, l'un des plus grands chantiers de ce siècle, le tunnel sous la Manche, a vu trois topographes diriger une équipe et assurer le pilotage des forages. Ce qui n'était pas rien, même à côté du tunnelier !

C'est pour commémorer la jonction topographique du 3 décembre 1990 que notre association remettait cette médaille dans une cérémonie présidée par Philippe Levaux, président de la FNTF, en présence de Mr Denis Hill, président du Land and Hydrographic Surveying Division (LHSD) de la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS).

Les trois topographes sont des grands de notre profession et leur CV peut rendre fier les professionnels et notre association dont sont d'ailleurs membres Jean-Michel Joseph (210) et Jean-Jacques Morlot (1049). Ce dernier, diplômé de l'ENSAIS en spécialité Géomètre-topographe (1974), a été chef du service de topographie au GIE Transmanche Construction (Dumez) et responsable des travaux pour la partie française des tunnels (65 km) : géodésie, triangulation, topométrie souterraine, suivi du pilotage des tunneliers et du positionnement des voies ferrées. Il est aujourd'hui responsable Topographe Maîtrise d'Oeuvre au GIE Lyon Nord (GTM) pour le boulevard périphérique nord de la ville.

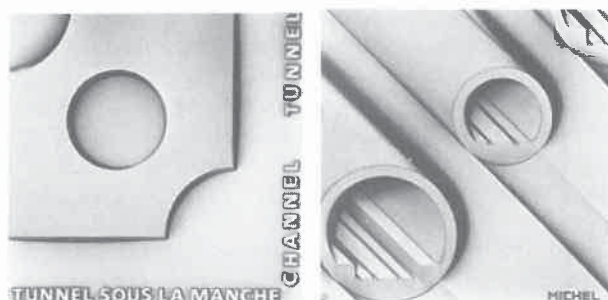
Jean-Michel Joseph, Ingénieur Principal, était détaché auprès d'Eurotunnel et assurait la mission de maîtrise d'œuvre et d'assistance technique auprès du maître d'ouvrage, ainsi que le suivi des activités topogra-



MM. Jean-Michel Joseph (France), Eric Radcliffe (Royaume-Uni) et Jean-Jacques Morlot (France)

phiques : mise en place du canevas de base extérieur, guidage des tunneliers et la pose du revêtement, le suivi des cheminements polygonaux, la vérification du tracé définitif, le suivi des déformations du tunnel, plus diverses et multiples autres tâches de mesure. Il est aujourd'hui détaché auprès de la Société Française du Tunnel Routier de Fréjus à St Jean de M. (auscultation zones sensibles EDF-SNCF, autoroute A43, accès au tunnel, etc).

Quand à notre ami britannique, que l'AFT associe pleinement à la tâche de nos concitoyens, Eric Radcliffe, il fut le "Chief Surveyor on the Channel Tunnel Project", qui devait rencontrer la France par ce chemin jamais emprunté.



Monnaie de Paris, modelée par R. Michel.



Prismes montés sur la machine

émetteur laser, puis on l'oriente suivant un gisement précis. D'autre part on installe sur la machine une cible active permettant d'exprimer des décalages du faisceau laser par rapport à deux directions perpendiculaires.

La précision demandée au système de positionnement ( $\pm 1$  mm), aurait obligé, si cette méthode avait été choisie, à

faire des portées très courtes pour minimiser les problèmes de perturbations atmosphériques (poussières, gradients thermiques) auxquelles le laser est particulièrement sensible.

D'autre part l'axe théorique de la voie est une courbe mathématique dans l'espace, il aurait donc fallu réorienter le laser pratiquement à chaque visée pour que celui-ci ne sorte pas de la cible active de la machine.

#### Solution topographique manuelle :

Cela consistait à placer un théodolite et un distancemètre de haute précision sur un point connu en coordonnées, puis un opérateur visait la machine et calculait les valeurs de décalage de la machine par rapport à des valeurs théoriques.

En fait cette solution aurait impliqué plusieurs opérateurs géomètres par poste de travail, vue les cadences et les précisions demandées.

#### Solution topographique automatique :

C'est celle qui a finalement été choisie. L'opérateur géomètre de la solution précédente est remplacé par un théodolite motorisé avec caméra vidéo intégrée, capable de mesurer 24H/24H et ceci avec une précision et une fiabilité maximum.

### DESCRIPTION DU SYSTEME T.D.S.

#### Principe de la mesure d'un point :

Pour mesurer un point, on utilise la station automatique de mesure TM 3000 V/D équipée d'un Distomat.

Ce théodolite motorisé projette une lumière infrarouge à travers la lunette et détecte son impact sur un réflecteur (prisme en verre de 50 mm de diamètre) grâce à une caméra vidéo intégrée dans le télescope.

Cette détection lui donne un angle vertical et un angle horizontal. Il mesure ensuite la distance au point grâce à un distancemètre infrarouge.

On détermine ainsi les coordonnées sphériques du point que l'on transforme en coordonnées cartésiennes suivant un référentiel déterminé.

#### Caractéristiques de la mesure d'un point :

- Portée supérieure à 500 mètres.
- Temps de mesure d'un point inférieur à 8 secondes.
- Ecart type sur les coordonnées du point : 1 mm à 100 m (0.1 mm à 10 m).

#### Principe du guidage automatique :

Un "bloc mesure" comprenant le théodolite motorisé TM 3000 V/D couplé à un ordinateur est installé sur un point connu. Un système radio assure la transmission des données entre l'ordinateur du "bloc mesure" et l'ordinateur qui gère les asservissements de la machine.

Un protocole de communication a été mis au point avec le constructeur de la machine pour coordonner les mouvements et les mesures.

#### Séquence de réglage automatique :

Le pilote de la machine demande une première mesure.

Le système topographique mesure la position, calcule les écarts par rapport au théorique et les renvoie vers la machine.

La machine se positionne précisément (asservissement).

Le pilote demande une mesure de contrôle.

Le système topographique mesure la nouvelle position, contrôle si elle se trouve dans les tolérances fixées, puis renvoie les écarts résiduels avec un drapeau d'avancement.

Si la machine n'est pas dans les tolérances, le pilote redemande une mesure avec asservissement.

Si la machine est dans les tolérances, le pilote peut passer à la position suivante et pendant ce temps la station topographique remesure ses points de références.

Un cycle de réglage dure moins de deux minutes.

#### Avantages du système :

Ce système est beaucoup plus simple de mise en place qu'un système de guidage par laser. Car le théodolite étant motorisé, il va suivre les mouvements de la machine. Il n'est donc plus nécessaire de placer l'appareil dans l'alignement de la trajectoire.

Le théodolite va se retourner pour remesurer périodiquement un ou plusieurs points fixes. Cela permet de s'assurer de la stabilité de système de guidage et donc du guidage lui-même. On en déduit ainsi un écart type du "retour sur référence" qui sera une sorte de critère de qualité des mesures effectuées.

Le théodolite mesure 2 prismes indépendants sur la machine, le second servant de contrôle après asservissement.

### CONCLUSION

L'importance d'un chantier tel que "le tunnel sous la Manche" a permis de faire un pas important dans le domaine de la mesure dimensionnelle en temps réel et sans contact.

Grâce à ce chantier on a pu éprouver la fiabilité du matériel et déjà de nouvelles applications se présentent dans des domaines tels que l'auscultation ou la trajectographie.

## **comment positionner en temps réel une machine, au millimètre, sur des portées de 150 mètres**

*Pierre Dubreuil - Ingénieur ESTP*



*Machine de pose de voies RND 92*

Le tunnel sous la Manche, baptisé "le chantier du siècle", a par ses contraintes d'environnement, de précision et de rendement amené différents constructeurs à développer de nouvelles technologies.

Le système que nous allons décrire dans cet article se nomme T.D.S. (Théodolite Driving System). Il a été développé par la société LEICA (Constructeur de matériel de topographie) pour permettre le guidage, en temps réel et sans contact, de la machine qui positionne la voie ferrée avant bétonnage.

### **DESCRIPTION DU CHANTIER**

Le tunnel sous la manche représente en fait 3 tunnels de 50 km chacun. Seulement deux nécessitaient un réglage de précision, le troisième étant un tunnel de service. 100 km de voies devaient donc être réglées. La précision de positionnement des voies après bétonnage devaient être de  $\pm 3$  mm aussi bien en planimétrie qu'en altimétrie.

Deux machines se sont partagées le travail, une côté Anglais et une côté Français.

La voie comporte des gabarits de réglage tous les 1,8 m, soit sur 100 km un total de 55556 réglages en pla-

nimétrie et altimètre devaient être effectués !

Les cadences demandées étaient de 360 m (200 gabarits) de voie réglée par poste de travail, et ceci 7 jours sur 7.

Des points connus en coordonnées tous les 150 mètres devaient servir de références absolues.

### **SOLUTIONS ENVISAGÉES**

#### **Solution mécanique :**

Dans un premier temps implanter et mesurer des points au droit de chaque gabarit. Puis dans un second temps la machine se positionne par rapport au point grâce à un bras palpeur travaillant en deux dimensions (planimétrie et altimétrie)

Le coût du matériel et de la mise en œuvre (55556 points à installer) de cette méthode étaient beaucoup trop élevés. D'autre part, le positionnement du bras palpeur sur le point au droit de chaque gabarit n'est pas très aisé, la machine supportant le bras mesurant 15 m de long sur 3 m de large et 2,5 de haut.

#### **Solution laser :**

On place sur un point connu en coordonnées un

mobile, l'auscultation de déplacements ou le guidage sur une trajectoire pré-définie.

Les trois méthodes pour obtenir un tel positionnement sont :

- Le DGPS ou GPS différentiel qui travaille sur les codes binaires qui modulent le signal. La précision obtenue va de un à cinq mètres mais dans un rayon supérieur à 1500 kilomètres. Très peu sensible aux obstructions, on peut par exemple l'utiliser pour la gestion d'une flotte de véhicules d'approvisionnement ou de la position de flèches de grues.

- Le RTK ou cinématique en temps réel qui utilise la phase du signal GPS. Elle permet un positionnement centimétrique dans un rayon de 20 kilomètres. Cette précision peut être améliorée à quelques millimètres si on recherche un déplacement relatif seconde après seconde en utilisant des filtres dynamiques. La navigation ou l'étude d'un mouvement peuvent en être une bonne application.

- Le RPT ou suivi précis où la position du mobile est calculé au niveau de la station de référence et peut, par exemple, être disponible dans une salle de contrôle. C'est la configuration utilisée lorsque le mobile est inaccessible ou pour les auscultations.

#### IV. QUELQUES EXEMPLES D'APPLICATIONS

**a) Statique** : Rattachement des réseaux géodésiques entre la France et l'Angleterre pour le projet du Tunnel sous la Manche. Canevas de référence de plusieurs grandes villes.

**b) Statique rapide et Stop & Go** : Implantation de tronçons du TGV Méditerranée. Levé tel que posé et reconstruction du terrain le long d'oléoducs.

**c) Cinématique continue** : Auscultation du Pont de Normandie lors de sa mise en charge. Pose de l'émissaire sous marin de Casablanca.

#### CONCLUSION

Le GPS est encore assez peu répandu en France dans le domaine du Génie Civil, malgré la diversité des applications possibles. Cependant, de nombreux essais ont été mis en place dans plusieurs domaines et la rentabilité de ce système a, chaque fois, convaincu. L'idée de la solution GPS à un problème de positionnement commence simplement à entrer dans les habitudes des concepteurs. Il ne fait aucun doute qu'une multiplicité de nouvelles applications seront découvertes et mises en place dans les années à venir.

# Aujourd'hui, chacun a besoin de repères.



**EUROBORNE**  
*L'imagination-service*

SAINT-SIXT B.P. 122 74804 LA ROCHE-SUR-FORON CEDEX TEL: 50 25 81 32 FAX: 50 03 33 71

Aspache

# rencontre de l'IREX - AFT

## Applications du GPS en Génie Civil

M. Leroy - Trimble

### INTRODUCTION

GPS - Global Positioning System

Lancement du 1<sup>er</sup> satellite en 1978,

Déclaré opérationnel avec 24 satellites en 1993.

A l'usage des spécialistes en phase prototype, les procédures de terrain et de calcul sont désormais bien cernées et accessibles à tous les utilisateurs.

Méthode	Précision	Temps	Rayon	Contrainte
Point isolé	100 m	Temps réel	Partout	Aucune
DGPS	1-5 m	Temps réel	2000 km	Liaison radio
Différentiel post traité	id	Calcul rapide	id	Aucune
Statique	2 mm + 1 ppm	1-6 heures	1000 km	Statique
Statique rapide	1 cm + 2 ppm	5-10 mn	25 km	Bifréquence
Cinématique	id	15 s	10 km	Signal continu
Cinématique OTF	id	5 s	20 km	Liaison radio

A l'exclusion du point isolé, le GPS permet de calculer le vecteur tridimensionnel entre deux récepteurs. Ceux-ci doivent au minimum recevoir en même temps les données de quatre satellites. Les avantages principaux par rapport aux méthodes traditionnelles sont :

- Une plus grande distance d'application.
- Pas de nécessité d'intervisibilité.
- Disponible 24 heures sur 24 sur la totalité du globe,
- Insensibilité aux intempéries (pluie, vent, neige, brouillard, chaud ou froid).
- Diminution des manipulations et donc des risques d'erreurs humaines.
- Résultats instantanés disponibles en temps réel au niveau du mobile.

Plusieurs types d'applications sont possibles selon la méthode choisie.

### I. RÉSEAUX DE RÉFÉRENCE EN STATIQUE

Certains projets reposent sur un réseau de référence établi avec une très haute précision. De tels réseaux peuvent être très facilement mis en place par GPS.

Il y a plusieurs avantages à utiliser cette méthode :

Même à très grande distance, il n'y a plus de déformations dues à l'accumulation des erreurs puisque des vecteurs de contrôle peuvent être observés directement

d'un bout à l'autre du projet. L'avantage est prépondérant sur des projets linéaires ou de grande étendue.

D'autre part, la possibilité de rattacher des points qui ne sont pas visibles entre eux permet de garantir l'homogénéité d'un réseau réparti sur plusieurs vallées. Les alignements de départ et d'arrivée d'un tunnel sont ainsi réellement rattachés sans station intermédiaire ni déperdition de précision quelque soit l'obstacle à franchir.

Enfin, on s'affranchit plus facilement d'un système de référence officiel qui présente parfois des imprécisions. L'insertion se fait alors au mieux sans déformer le réseau observé dont les fermetures internes garantissent la solidité.

Les domaines d'application sont aussi divers que les tunnels, les projets routiers, les lignes électriques ou les implantations nécessitant une grande précision (barrages ou centrales nucléaires). L'autonomie du système est également avantageuse dans les endroits ne disposant que de très peu de références.

### II. RELEVÉ ET IMPLANTATION

#### a) Statique Rapide :

Les derniers développements des algorithmes de calcul permettent de calculer un vecteur de vingt-cinq kilomètres avec cinq minutes d'observation et une précision finale de deux à cinq centimètres. Cette méthode appelée statique rapide permet de lever très rapidement des points nouveaux ou existants en se rattachant au réseau de référence.

#### b) Stop and Go :

Le principe de base de cette méthode comprend une initialisation statique d'environ deux minutes sur une ligne de base connue et une réception continue des satellites lors du mouvement. Tant que quatre satellites sont conservés, il suffit de s'arrêter quelques secondes sur un point pour en déterminer ses coordonnées.

Si on utilise des récepteurs bi-fréquences, on peut s'affranchir de l'initialisation sur un point connu, celle-ci se faisant en mouvement (méthode O.T.F.) ou sur un point nouveau.

Cette méthode peut être utilisée pour un traitement différé ou en temps réel. Le temps réel demande l'emploi d'un lien radio pour la transmission de données entre la référence et le mobile. Les avantages du temps réel sont l'assurance d'un bon déroulement de la session et la connaissance immédiate des coordonnées du mobile. Cette connaissance permet la navigation vers un point précis, son implantation ou son contrôle.

### III. CINÉMATIQUE CONTINUE

On peut également avoir une connaissance continue des coordonnées d'un mobile. Cette position peut être connue en temps différé ou en temps réel avec un équipement radio. Les applications directes de ce système auxquelles on peut penser sont la poursuite de tout

## rencontre de l'IREX - AFT

# EUROTUNNEL mise en place de la voie définitive dans les tunnels ferroviaires

Jean-Michel Joseph  
SETEC - Maître d'œuvre  
responsable topographie auprès d'Eurotunnel

Après avoir défini un tracé optimum compte tenu :

1) De la géométrie réelle du revêtement des tunnels, à partir de lever de profils en travers à raison d'un tous les 12,50 m environ.

2) De respecter les contraintes pour permettre une circulation des trains de grand gabarit à grande vitesse, 160 km/h voire plus, c'est-à-dire :

- d'inscrire le gabarit des trains et navettes + les marges de sécurité.
- de respecter des trajectoires pour les courbes en plan de rayon minimum de 4 200 m.
- pour le profil en long, des pentes maximum de 11 mm/m et des cercles de raccordement de 15 000 m de rayon.

L'Entreprise a dû mettre en place la voie ferrée par rapport à cet axe définitif, en respectant les tolérances suivantes.

- En absolu :
- Implantation en plan
    - en alignement droit à  $\pm 4$  mm
    - en courbe à  $\pm 6$  mm
  - Implantation en profil en long à  $\pm 7$  mm
- En relatif :
- Ecartement entre rails à  $\pm 2$  mm
  - Dévers à  $\pm 2$  mm

Cette voie ferrée a la particularité d'avoir des rails posés sur des supports en béton appelés "blochets", espacés tous les 60 cm, protégés par un chaousson en néoprène faisant office d'amortisseur, à demi noyé dans le béton de radier, les rails étant non reliés entre eux par des traverses.

Pour réaliser cette pose, plusieurs étapes ont été nécessaires en topographie avant la mise en place du béton de blocage.

• Tout d'abord, la voie était posée à quelques cms de l'axe sur un radier réalisé en 1ère phase situé à environ - 5 cm du niveau fini, équipée de ses blochets, maintenue pour la distance entre rails par des entretoises tous les 1,80 m, de butons pour le calage latéral et de vis verticales pour le réglage en hauteur. Les coupons de rail étant déjà soudés entre eux.

La première opération topographique consistait à caler la voie dans sa position définitive, avant mise en place du béton de blocage.

Pour ce faire une machine de réglage nommée RND (Releveuse, Niveleuse, Dresseuse) conçue pour rouler sur la

voie en place sur le radier, équipée de vérins pour prendre appui sur ce radier.

La machine est constituée de deux éléments schématisés par 2 U inversés.

- le premier, solidaire des vérins d'appui sur le radier.
- le deuxième, mobile pour translations latérales et verticales à l'aide de vérins hydrauliques.

Sur chaque cadre est fixé un prisme, repéré de construction par rapport à l'axe de la machine.

Ces prismes servent à mesurer la position de la machine dans le système général des coordonnées utilisées en XY pour la planimétrie et en Z pour l'altimétrie.

Sur le cadre mobile des crochets prennent les rails pour pouvoir les déplacer dans leur position définitive.

A l'arrière et à proximité de la machine (à moins de 100 m) un théodolite est placé sur un des points de référence du chantier (console topographique).

Ce théodolite, entièrement motorisé pour la rotation de ses axes du mouvement horizontal et du basculement de la lunette ainsi que pour la mise au point de l'objectif, la visée humaine étant remplacée par une caméra CCD.

Il émet également des ondes électromagnétiques pour mesurer des distances et rechercher automatiquement un prisme et faire le fin pointé sur celui-ci.

Dans un premier temps le théodolite relève la position XYZ du prisme fixé sur le cadre fixe de la machine de réglage en appui sur ses vérins, l'autre prisme étant occulté.

Il transmet ces informations à l'ordinateur situé à proximité qui traduit à l'aide d'un logiciel mis au point par la firme LEICA, les coordonnées relevées en :

- Position métrique (PM)
- Position latérale ou distance à l'axe du projet
- Position verticale par rapport au projet

En fonction du point métrique le calculateur déduit les élan de la position latérale et de la position verticale ainsi que le dévers à appliquer à ce point.

Il renvoie par onde radio ses informations à la machine de réglage pour affichage des écarts et déplacer les vérins asservis pour la mise en place du cadre mobile soutenant les rails.

Les déplacements effectués, 3 personnes bloquent les boutons latéraux et les vis de réglage verticales.

Le premier prisme est occulté, le deuxième prisme (sur le cadre mobile) est relevé par le théodolite en coordonnées, transmet les valeurs au calculateur, qui en déduit de nouveaux écarts, si ceux-ci sont inférieurs à la tolérance que s'est fixée l'entreprise ( $\pm 3$  mm).

La RND libère ses vérins d'appui en radier et avance de 1,80 m pour réitérer l'opération de réglage ainsi de suite. Cette opération permettait de régler 300 à 400 m/jour de voie.

A l'arrière, deux équipes de contrôle indépendantes relèvent la position de voie, la première pour parfaire les opérations de fin réglage, la deuxième pour valider l'opération de calage de la voie dans sa position définitive.

Entre les deux opérations de contrôle, une autre machine appelée CM10 (chariot de mesure de 10 m) enregistrait en continu :

- l'écartement entre rails
- le dévers de la voie
- le lissage d'un rail : les flèches sur une longueur de 10 m en plan et en profil.

Ces informations étaient transmises en continu sur un graphique et consolidaient les opérations de contrôle topographique, pour donner l'ordre de la mise en place du béton de blocage.