

ION GPS-98, c'est la troisième fois qu'on
entreprend de rendre compte de cette réunion annuelle
au cours de laquelle les chercheurs de tous les pays présentent leurs tra-

la onzième réunion technique internationale de la division des satellites de l'institut de navigation



nashville
tenessee
septembre
1998

Claude Million

vaux. Ce n'est certes pas, et de loin, la seule réunion annuelle de cette nature, mais c'est certainement la plus complète, en ce sens que les auteurs n'hésitent pas, lorsqu'ils ont déjà fait connaître leurs travaux ailleurs, à renouveler leur contribution au cours de la réunion internationale de l'Institut de Navigation (ION).

La réunion se déroulant sur trois jours, et compte tenu de la quantité des communications présentées, plusieurs conférences se tiennent simultanément, en sorte qu'il n'est pas possible d'assister à toutes. Même en se spécialisant, il est souvent impossible de suivre complètement un thème particulier. Malgré tous les moyens de diffusion modernes employés, notamment un compte rendu journalier des conférences sur l'Internet, il est préférable d'attendre la publication des Comptes Rendus pour être certains d'avoir la totalité des communications et pour faire un choix judicieux parmi ceux qui sont les plus intéressants.

Ce choix comporte une part d'arbitraire, car il est assez difficile de dire si une avancée dans un domaine particulier ne sera pas exploitée dans un autre, c'est le cas de GPS lui-même qui d'un outil militaire d'avant garde est devenu un puissant moyen surtout utilisé par les civils.

GÉNÉRALITÉS

La séance d'ouverture des conférences évoque les principaux problèmes et les principales avancées du moment. En 1998 il a surtout été question de la préparation du projet de loi de programmation de la modernisation de GPS, en d'autres termes de la large ouverture du système aux usages civils, dont on a rendu compte, dans le dernier numéro, dans un trop bref communiqué, qui a pu passer inaperçu.

La conférence inaugurale s'est largement fait l'écho des débats qui agitaient les milieux scientifiques dans la période de préparation de cette annonce.

Rappelons les principaux points :

- Dédoublage dès 2003 des principales longueurs d'onde utilisées par GPS permettant aux civils d'avoir deux longueurs d'onde disponibles, ce qui ne change pas grand chose dans notre cas, où la seconde longueur d'onde est déjà largement exploitée pour corriger la réfraction ionosphérique, mais rendrait accessible le code P sur la longueur d'onde L1.
- Création vers 2005 d'une troisième fréquence pour permettre la fixation facile des ambi-

guités entières en temps presque réel. Cette dernière longueur d'onde étant assez proche de la seconde longueur d'onde L2 pour donner, en les associant, une longueur d'onde résultante de l'ordre de 6 à 10 mètres, pour laquelle la fixation des ambiguïtés entières est plus facile et surtout plus sûre. Les applications professionnelles pourraient être de rendre les opérations en temps presque réel telles que les implantations, ou la direction des engins, plus faciles à des prix très abordables.

En fait, toutes ces adaptations visent, au premier chef, à permettre l'amélioration de la navigation aérienne et surtout des aides à l'atterrissage, tout le reste n'étant encore que des supputations, même si elles sont solidement fondées.

La conférence inaugurale s'est largement fait l'écho des préoccupations concernant les systèmes baptisés L AAS et WAAS qui désignent des moyens de réception, de traitement, et de transmission des données reçues à un point de base éloigné (WAAS) ou local (LAAS). Dans le premier cas on transmet les mesures brutes faites, et le récepteur lointain doit les exploiter, alors que dans le second on transmet des corrections calculées à la posi-

tion connue du point de base afin de les appliquer telles quelles aux positions calculées au point de réception. Il existe, en France, quelques aides à la navigation fluviale et maritime de ce type, et les initiatives se multiplient.

SESSION A1

TOPOGRAPHIE ET GÉODÉSIE

Un réseau de diffusion des corrections différentielles pour les applications géodésiques. Par Sven Martin, et Cord-Hinrich Jahn.

Certains services Allemands de géodésie ont installé de multiples stations sur le territoire de la Région de Basse-Saxe émettant des corrections différentielles sur la bande VHF. Le principal problème est que la précision résultante dépend de la distance du récepteur à la station qui émet ; la solution proposée est de relier plusieurs stations émettrices en réseau et de calculer le jeu des paramètres de correction en tenant compte de toutes les réceptions dans toutes les stations fixes liées entre elles. La précision obtenue est de l'ordre du centimètre pour le récepteur mobile, le temps de fixation des ambiguïtés entières étant de l'ordre de 100 secondes pour neuf satellites reçus, elle s'accroît lorsque ce nombre diminue pour atteindre 400 secondes pour six satellites reçus.

*

Des stations de références virtuelles pour les Pays-Bas. Par H. Van der Marel.

Le sujet est le même que le précédent avec des développements mathématiques plus consistants. Cinq stations « locales », réparties sur le territoire de Pays-bas sont liées en réseau à un Centre de Calcul, mais les données expédiées aux récepteurs sont virtuelles en ce sens qu'elles sont adaptées à sa position, elles simulent les mesures d'une station fixe très proche de la station mobile. De la sorte les retards atmosphériques reçus sont ceux qui auraient été obtenus par interpolation entre les différentes stations, en fait tous les calculs compliqués sont faits en une seule fois dans le Centre de Calcul, y compris, si besoin est, les calculs des orbites réelles des satellites. La précision est de un centimètre en planimétrie et de 1,4 cm en altimétrie.

*

Le suivi des mouvements du barrage de Pacoima en Californie en utilisant GPS en continu. Par J. A Behr, K; W Hudnut et N. E King.

L'étude a montré que la détermination quotidienne ou multi-quotidienne des mouvements du barrage était gênée par des systématismes. Les auteurs se proposent de les réduire. Le but poursuivi est d'atteindre une précision quotidienne de l'ordre de 4 à 6 mm.

Sur une période de trois ans la clef du barrage montre un mouvement annuel cyclique de 17 ± 2 mm. Les auteurs ont réussi à démêler les mouvements dus à la montée des eaux derrière le barrage de ceux dus aux variations de température.

*

La modélisation des effets de la réfraction ionosphérique dans un Réseau de Corrections Différentielles Régionales. Par Y Gao et Z. Li.

On se retrouve à nouveau dans le cas d'un Réseau Régional de Diffusion des corrections différentielles. Il s'agit

de modéliser les effets de la réfraction ionosphérique sur une région, et de créer un algorithme d'interpolation permettant de calculer ces corrections en tous lieux d'une région aussi grande que la Colombie Britannique. Cette démarche vise à combler le manque des méthodes que les auteurs estiment exister entre le WAAS et le LAAS.

Les auteurs montrent les résultats des prévisions faites par l'algorithme proposé en des lieux où la correction ionosphérique est bien mesurée, et que les erreurs commises ne sont que de quelques centimètres sur la distance géométrique.

*

Le suivi par GPS des mouvements verticaux du sol en Grande Bretagne. Par V. Ashkenazi, R. Bingley; A. Dodson, N. Penna, et T. Baker.

Il s'agit de suivre un hypothétique exhaussement du niveau global des mers dont l'origine serait le réchauffement général de l'atmosphère. Les constatations sur le dernier siècle amènent à des estimations d'un relèvement global du niveau de la mer de 10 à 20 cm ce qui porterait à prévoir un relèvement de 40 à 60 cm en 2100. La plupart de ces conclusions sont tirées de mesures faites en des station de marémétrie. La variation serait de 1 mm par an pendant 30 ans de données. Cependant il est impossible de distinguer un « vrai » relèvement du niveau de la mer d'un enfoncement du sol au site du médimarémètre.

Au voisinage de tous les marémètres en service en Grande-Bretagne, soit environ 18 sites, on a installé une station de réception GPS qu'on aurait voulu fixe et permanente, mais qui ne pourra le devenir que dans l'avenir. Ces stations sont rattachées au repère du marémètre qu'elle desservent par un nivellement direct de haute précision. Leurs observations sont faites en même temps qu'à la station fondamentale de la Grande-Bretagne de Hertzmonceaux, elle-même reliée au réseau Européen Général pour s'assurer de sa propre stabilité. La liaison entre les stations GPS proches des marégraphes et la station fondamentale est destinée à mettre en évidence les mouvements du sol. Les observations qui se sont déroulées de 1991 à 1997 n'ont pas encore permis de mettre en évidence des tendances bien nettes, mais au contraire les résultats sont assez contradictoires. Quoi qu'il en soit les résultats préliminaires montrent très clairement qu'il est très avantageux du point de vue de la précision de disposer de stations permanentes et non d'un épisodique stationnement. Sur la station de base la précision en altimétrie pour s'assurer de sa stabilité est de l'ordre de $\pm 1,6$ mm avec une légère tendance à l'exhaussement, et la précision est de $\pm 2,7$ à 3,7 mm pour les stations courantes.

SESSION D1

TECHNIQUES DES SYSTÈMES DE RÉCEPTIONS : NOUVELLES ARCHITECTURES ET STRATÉGIES DE TRAITEMENT

Un système global de localisation par le temps local (Zulu Time). Par A. Murakami

Notre attention a été attirée par l'étrangeté de ce système de navigation qu'on ne développera pas mais qu'on ne saurait ignorer.

SESSION A2 LOCALISATION CINÉMATIQUE ET RÉOLUTION DES AMBIGUÏTÉS

Une entreprise visant à se libérer des considérations liées à la géométrie pour l'estimation des ambiguïtés. Par N.F.Jonkman.

La détermination des ambiguïtés est traditionnellement liée à la géométrie des satellites en ce sens que dans les calculs de doubles-différences on détermine simultanément les positions du récepteur et les ambiguïtés des porteuses.

Il existe une autre voie bien connue, c'est de déterminer les ambiguïtés sans faire intervenir les positions des satellites, c'est-à-dire en utilisant seulement les mesures de phases et de pseudo-distances.

L'auteur donne un modèle mathématique très simple de détermination simultanée des ambiguïtés par doubles différences sur les deux longueurs d'onde L1 et L2 et un modèle stochastique.

La résolution se fait en deux temps :

D'abord le calcul d'une solution non-entière des ambiguïtés en résolvant le modèle mathématique en doubles différences.

Puis la recherche des meilleures solutions entières autour de la solution non-entière brutale des moindres carrés. Généralement l'ellipse de confiance est très aplatie et l'auteur propose d'utiliser la méthode LAMBDA assez bien connue pour lui donner une forme quasi-circulaire par dé-corrélation, et réduire ainsi le volume de recherche.

L'auteur montre que ce procédé est très performant lorsqu'il est possible de négliger les effets de l'ionosphère, soit qu'ils aient pu être corrigés préalablement, soit que le vecteur mesuré soit suffisamment court.

*

Analyse de la technique de résolution des ambiguïtés sur trois porteuses pour la radiolocalisation de précision en GNSS2. Par U. Vollath, S. Birnbach, H. Landau, J.M.Fraile-Ordoñez, M. Martin-Niera.

Les auteurs envisagent que les signaux de GNSS2 seront les suivants :

- E1** 1 589,742 MHz
soit une longueur d'onde de 0,189 m.
- E2** 1 561,098 MHz
soit une longueur d'onde de 0,192 m.
- E4** 1 256,244 MHz
soit une longueur d'onde de 0,239 m.

La structure du signal envisagée permet d'utiliser les combinaisons suivantes :

Une « grande large-voie » E1-E2 avec une longueur d'onde résultante de 10,47 m.

Deux « larges-voies » de E1-E4 soit 0,899 m et de E2-E4 soit 0,983 m. On a les deux relations de base :

Pour le code :

$$p_i = R + T + I \cdot \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} + \Delta\tau \cdot c + v \cdot p_i$$

Pour la porteuse :

$$(\varphi_i + N_i) \cdot \lambda_i = R + T - I \cdot \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} + \Delta\tau \cdot c + v \cdot \varphi_i \cdot \lambda_i$$

R étant la distance géométrique, T le retard troposphérique, et I l'effet dispersif de l'ionosphère, ρ est la pseudo-distance et φ la phase mesurées.

Le premier calcul tient naturellement compte de la « grande large voie » : $\varphi_{1-2} = \varphi_1 - \varphi_2$

Cette combinaison a une longueur d'onde de 10,47 m ce qui permet de déterminer aisément l'ambiguïté par le code :

$$N_{1-2} = \frac{\rho_1}{\lambda_{1-2}} - (\varphi_1 - \varphi_2)$$

Seconde étape on utilise la large voie E1-E4, ou l'autre : $\varphi_{14} = \varphi_1 - \varphi_4$

Ce qui donne compte tenu de ce qui précède, à savoir la détermination de l'ambiguïté entière N_{12} :

$$N_{14} = (\varphi_1 - \varphi_2 + N_{12}) \cdot \frac{\lambda_{12}}{\lambda_{14}} - (\varphi_1 - \varphi_4)$$

Troisième étape on revient aux fréquences originales, n'importe laquelle au demeurant soit i celle qu'on aura choisie :

$$N_i = (\varphi_1 - \varphi_4 + N_{14}) \cdot \frac{\lambda_{14}}{\lambda_i} - \varphi_i$$

On a développé ce point qui montre comment on profite de la troisième fréquence.

SESSION D3 CONSTRUCTION, AGRICULTURE, MINES ET GÉNIE CIVIL

Le suivi des ossatures de Génie Civil par GPS. Par M. Celeb, K. Hudnut, J. Behr, S. Wilson.

La mesure directe des déplacements relatifs afin de vérifier les contraintes et les déformations dans les ossatures est toujours difficile. Les accéléromètres sont les instruments les plus communément utilisés afin de suivre les effets du vent et des séismes sur les structures. Toutefois l'utilisation de ces capteurs impose une double intégration pour passer des accélérations aux déplacements. Dans la majorité des cas ce processus ne peut pas être conduit en temps réel, ou presque réel, en raison des nombreux filtres imposés au traitement du signal. Les choix de ces filtres peuvent introduire des erreurs sur le calcul de la réponse de la structure à la sollicitation.

Toutefois, les plus récentes avancées de GPS dans ce domaine technique permettent des cadences de réception et de traitement fiables de 10 mesures par seconde, pouvant s'appliquer à des structures à période longue telles que les ponts suspendus et les bâtiments très élevés. On peut considérer que des précisions de 1 cm dans le plan horizontal et de 2 cm dans le plan vertical sont aisément accessibles. La plupart des bâtiments élevés (entre 20 et 40 étages ou plus) sont construits en ossatures d'acier dont la période fondamentale peut être estimée empiriquement par la formule $T = 0,1 \cdot N$ où N est le nombre d'étages du bâtiment. Les fréquences les plus courantes sont de 20 à 40 fois la fréquence de Nyquist d'échantillonnage.

Les essais présentés portent sur des porte-à-faux dans un bâtiment de 44 étages et montrent que la précision obtenue par GPS est largement suffisante, certains déplacements mesurés dépassent d'ailleurs 1,00 mètre. Les fréquences propres des ouvrages ont été déterminées avec précision. Un logiciel d'alerte a été établi pour trois différents seuils de déplacement de l'ouvrage.

SESSION D5
GPS/GLONASS – GNSS
INTÉGRATIONS RÉCIPROQUES ET PERFORMANCES
ÉTUDES SCIENTIFIQUES

Les paramètres de passage entre WGS 84 et PZ 90 déterminés par des mesures- laser d'orbites et des éphémérides à long terme de GLONASS.

Par V.V. Mithrikas, S.G. Revniviyhk, E.V. Bykhanov.

Les auteurs proposent deux formules de transformation. La première est une transformation moyenne entre les orbites améliorées de GLONASS – PZ 90 et les mêmes orbites en ITRF 94 :

$$\begin{matrix} x & -0,47 & 1 & -1,728.10^{-6} & -0,017.10^{-6} & u \\ y & -0,51 & + (1 + 22.10^{-9}).1,728.10^{-6} & 1 & 0,076.10^{-6} & v \\ z_{WGS84} & -1,56 & 0,017.10^{-6} & -0,076.10^{-6} & 1 & w_{PZ 90} \end{matrix}$$

La seconde est une transformation du référentiel de GLONASS à partir des mesures. Les précisions obtenues sur les prévisions des orbites sont de l'ordre de 20 à 30 cm.

Les paramètres de translation varient de 5 à 7 cm en X et Y, les paramètres de rotations et la translation en Z sont sujets à des variations périodiques de 2 à 3.

*

Les essais internationaux de GLONASS (IGEX 98).

Par J. A Slatter, P. Willis, W. Gurtner, C. Noll, G. Beutler, G. Hein, R. E Neilan.

Cette communication présente l'état actuel des campagnes d'observations scientifiques de GLONASS appelées IGEX 98 réalisées dans un effort auquel sont associées : l'Association Internationale de Géodésie, l'IGS, l'Institut de Navigation ION organisateur de la réunion dont on rend compte, et le Service International de Rotation de la Terre (IERS).

Les demandes de participations ont recueilli les réponses de 62 organisations, dans un avenir qu'on espère proche 77 stations réparties dans le monde pourront suivre la constellation GLONASS avec les objectifs affichés suivants :

Être distribuées uniformément.

Les récepteurs seront implantés en colocation entre GPS et GLONASS.

Les stations de poursuite seront matérialisées, et repérées.

Les participants auront des normes communes pour faire leurs observations et leurs analyses.

Les observations auront lieu sur une longue période de temps.

En fait, IGEX fera pour GLONASS ce que l'IGS fait depuis longtemps pour GPS. Pour la plus grande part les participants sont d'ailleurs les mêmes. Ils pourront ainsi assurer la tâche de colocation en utilisant des récepteurs pouvant recevoir à la fois des émissions des satellites de l'une ou l'autre des constellations, de préférence au même instant.

Comme pour l'IGS les orbites précises calculées seront mises à la disposition du public par des moyens qui

sont souvent les mêmes. Pour la France, c'est le site habituel du LAREG qui sera utilisé pour la diffusion des résultats.

Au 10 septembre 1998 seulement 4 stations étaient opérationnelles, 23 installées, 24 réceptionnées, 4 financées, et 19 étaient encore en projet.

*

Le satellite Européen de navigation Artemis : Une amélioration du programme EGNOS.

Par S. Badessi, C.F. Gariga, J. Ventura-Traveset, J.-M. Pieplu

C'est le début du programme Européen destiné à compléter les constellation GPS et GLONASS. En fait c'est une plate-forme supplémentaire implantée sur les satellites INMARSAT. Ces satellites seront lancés en 1999.

La partie embarquée au titre d'Artemis comportera quatre éléments dont un qui nous intéresse, celui de navigation. C'est un émetteur sur la fréquence L1 qui pourra être dédié à la navigation. Il pourra recevoir à 13,875 Ghz un signal descendant des stations de base et retournera un signal GPS sur L1 sur une largeur de 4 MHz. Les limites de sa trajectoire seront de 60°W en longitude à 60°E, donc une largeur de 120°, et 75° en latitude.

L'utilisation prévue vise essentiellement la navigation aérienne, toutefois n'oublions pas que GPS était un système exclusivement militaire. Finalement les récepteurs GPS pourront recevoir ses émissions.

*

Les satellites GPS IIR vont rejoindre la constellation.

Par K. Kiser et S. H Vaughan.

Les satellites GPS IIR représentent une nouvelle génération de satellites. Ils sont prévus pour une durée de vie de 7 années et demi.

Ils incluent pour la première fois des processeurs doubles (un en fonctionnement pendant que l'autre fait le suivi du travail du premier) reprogrammables en orbite, ce qui permettra de s'adapter aux modifications de conception du système et de parer aux anomalies de fonctionnement. L'horloge a été améliorée pour donner une plus grande précision et une plus grande stabilité, ce seront trois horloges au Rubidium d'une durée de vie de dix ans pouvant se remplacer l'une l'autre.

Des progrès seront, aussi, réalisés au lancement. Les satellites seront lancés par six et pourront rejoindre des orbites différentes à n'importe quel moment de l'année sans problèmes de stabilité. Les satellites disposeront de nouveaux moyens de se stabiliser et de s'orienter selon les trois axes. L'utilisation de l'énergie du satellite est commandée par un logiciel ce qui permettra de faire des économies, et de faire face à des éventualités sans faire intervenir les stations au sol.

*

ION-GPS' 99 aura lieu du 14 au 17 septembre 1999, encore à Nashville au Convention Center, les appels à communications ont déjà été lancés.