

Tests réalisés avec le WM 101

par Fritz K. BRUNNER, Erwin FREI, Wild Heerbrugg LTD*
and Steven M. CHAMBERLAIN, Magnavox Advanced Products and Systems Company*

Devant l'intérêt porté au WM 101 par les visiteurs lors de la rencontre AFT 86, Wild a choisi de présenter un texte traitant des tests de mesure effectués avec le WM 101. XYZ publiera ultérieurement un article reprenant la conférence de P. Gaubert sur les différentes utilisations non topographiques du GPS.

1. INTRODUCTION

1.1 Précisions obtenues par le GPS en positionnement relatif

Depuis ces dernières années, il est devenu évident que l'utilisation des satellites Navstar-GPS va avoir un impact significatif, voire révolutionnaire sur la topographie.

La topographie par satellite avec le GPS offre de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles. Les points les plus significatifs sont :

- les composantes du vecteur 3D sont déterminées directement,
- la visibilité entre les stations au sol n'est pas nécessaire,
- les sites sont sélectionnés indépendamment de la configuration du réseau,
- il donne une haute précision pour un positionnement relatif.

Afin d'évaluer la précision atteinte par les récepteurs GPS, nous avons pensé qu'il serait utile de déterminer les différences absolues entre les résultats donnés par un GPS et les mesures géodésiques terrestres, ΔS , réunies ces dernières années (voir Fig. 1). Les sources des résultats sont indiquées dans le tableau 1.

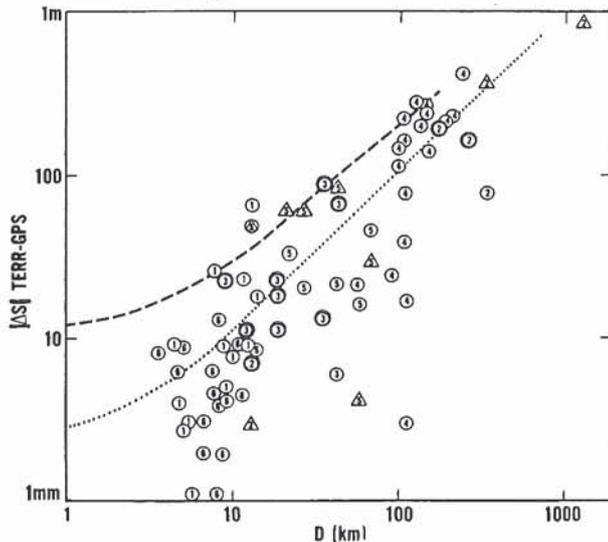


Figure 1 : Précision typique du GPS dans des applications géodésiques. La ligne en pointillé correspond à une précision de 3 mm + 1 ppm de la longueur de la base, celle en tirets à une précision de 10 mm + 2 ppm.

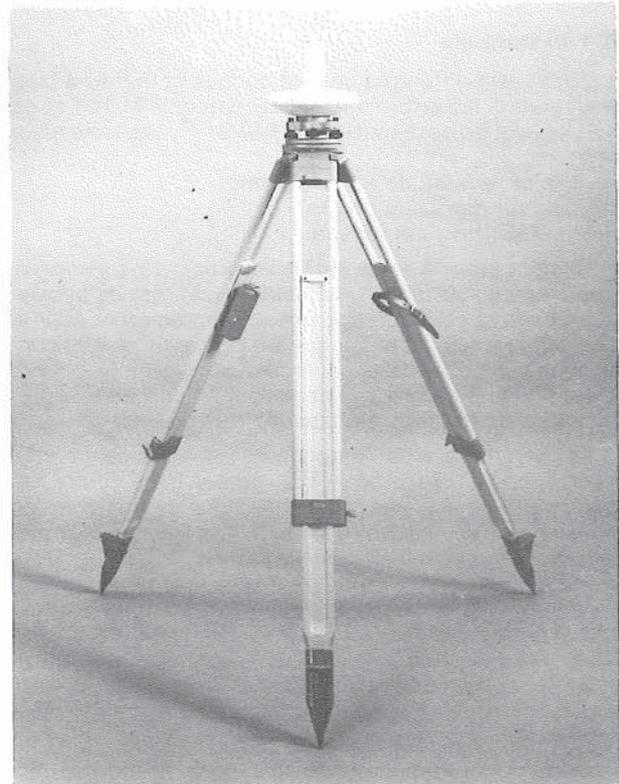
1.2 Tests du WM 101

Récemment Wild Heerbrugg et Magnavox ont formé un "Joint-Venture" (WM Satellite Survey Company) afin de développer, fabriquer et commercialiser une gamme d'équipement de positionnement par satellite GPS. Grâce à cette union, les produits WM profiteront des ressources et de l'expérience unique des deux sociétés partenaires. Le récepteur WM 101 et le logiciel de post-traitement POPSTM forment le premier système de

mesure par satellite GPS de WM. La spécification de précision du WM 101 est de 10 mm + 2 ppm.

Nous voulons tester la performance du récepteur WM 101 aussi indépendamment que possible des sources générales d'erreurs du GPS. Pour cela, nous avons déterminé 3 procédures différentes de test décrites dans cet article. Durant le premier semestre de 1986, les tests de mesure ont été effectués avec le WM 101 dans plusieurs endroits et dans différentes conditions météorologiques et d'environnement. Toutes les données collectées lors de ces tests ont été traitées par POPSTM.

Le principal but de cet article est de présenter quelques-uns de ces résultats et de tirer des conclusions sur la précision accessible avec le WM 101.



WM 101 ANTENNA

2. RECAPITULATION

2.1 Le WM 101 et ses caractéristiques techniques

Le WM 101 (figure 2) est un récepteur à 4 canaux, L1 et code C/A. Les 4 canaux fournissent le message du satellite, la pseudo distance, la mesure de la phase de la porteuse simultanée (L1) concernant jusqu'à 6 satellites. Il a toutes les caractéristiques considérées comme essentielles pour un véritable appareil de terrain : batterie interne et rechargeable pour alimenter l'unité pendant environ 3 à 4 heures d'opération, une platine de cassette incorporée, une résistance aux températures variant de

* CH-9435 Heerbrugg Switzerland

** 2829 Maricopa Street Torrance, CA 90503

- 25° à + 55° C ; de plus il résiste à l'eau et peut flotter. L'antenne du WM 101 figure sur la photo n° 2. C'est une antenne omnidirectionnelle qui maintient sa polarisation circulaire à droite sur l'ensemble de la sphère afin de réduire les effets de trajectoires multiples.

Un câble qui peut aller jusqu'à 120 m (RG 214) peut être utilisé pour connecter le récepteur à l'antenne. L'antenne résiste à une température variant de - 40° à + 70° C.



WM 101.

3. PROCEDURES DE TESTS ET RESULTATS

3.1 Préambule

Trois tests différents ont été conçus et menés à bien pour vérifier la performance du récepteur WM 101 et de son logiciel de post-traitement POPSTM. Les trois tests sont :

- (i) test de la base de longueur zéro.
- (ii) test sur une base courte.
- (iii) test sur un petit réseau.

Chaque procédure de test a été choisie pour remplir des critères spécifiques. La première, le test de la base zéro, est une configuration utilisée couramment pour le test du matériel. Dû au fait que les 2 récepteurs sont connectés à la même antenne, la longueur calculée pour la base devrait être zéro. Les écarts par rapport au zéro proviennent de différences dans les récepteurs.

La performance de l'antenne ne peut pas être testée avec le test de base zéro. Un test sur base courte est nécessaire pour vérifier la performance de l'antenne en plus de celle du récepteur. En admettant que les 2 antennes ne sont pas trop éloignées l'une de l'autre, les effets de propagation et d'orbite devraient être négligeables. Malheureusement la distance entre les 2 antennes n'est plus une valeur vraie comme elle le serait dans le test base zéro. Ainsi la soi-disant "valeur vraie" doit être mesurée avec suffisamment de précision en utilisant un autre équipement, par exemple un MED (distancemètre électronique).

Cette configuration du test base courte est une utilisation très simple de l'équipement GPS en positionnement. C'est pourquoi une 3^e procédure de test, le test sur petit réseau, est proposé. Ce test général couvre non seulement les sources d'erreur relatives au matériel mais aussi les sources externes comme celles déjà mentionnées. Si on observe un réseau de plus de 2 stations plusieurs fois, on peut former les fermetures vecteurs avec les composants des vecteurs indépendants entre les stations. Cela permet une évaluation non biaisée de la précision atteinte puisque la vraie valeur de la fermeture est zéro.

3.2 Test de la base zéro Mesures

Tous les tests sur base zéro ont été réalisés à Torrance

en Californie. L'antenne était montée sur le toit du bâtiment 3 de l'usine Magnavox (33° 50' N, 118° 20' O). Les récepteurs étaient dans le laboratoire. Pour ce rapport, nous avons sélectionné les mesures enregistrées le 22 mars 1986. Les mesures ont été compactées par le récepteur en données recouvrant une minute. Les données disponibles couvrent une période allant de 4 h 00 à 11 h 00 TU pendant laquelle les signaux des satellites n° 3, 6, 8, 9, 11, 12, 13 ont été enregistrés. Un angle minimum de 15° a été sélectionné dans le récepteur et pour le post-traitement.

Traitement

Le volume total des données fut séparé en 3 sessions puisqu'une session est limitée dans le POPSTM à 200 données. La figure 4 est un graphique représentant les 3 sessions et les visibilité des satellites ce jour-là. Le balayage par le POPSTM des doubles différences des phases observées (DDPO) a conduit à l'élimination de toutes les données du satellite 11, à cause d'un bruit trop fort dans la phase. Cependant les DDPO ont été constituées en utilisant toutes les combinaisons possibles d'observations de phase à partir des 6 satellites restants.

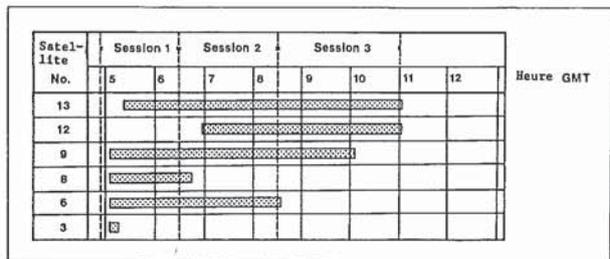


Figure 4 : Graphique de visibilité des satellites pour le test de base zéro le 22 mars 1986. Les 3 sessions sont différenciées. Le satellite 11 n'est pas représenté (voir texte).

3.3 Test base courte

Configuration du test (voir figure 5)

Comparé avec le test sur la base zéro, la configuration de ce test permet de contrôler les différences entre les antennes en plus des 2 récepteurs. On peut admettre que pour une distance entre les antennes de 88 m la plupart des effets d'environnement du GPS sont fortement corrélés. Ces effets sont principalement la propagation atmosphérique et les erreurs d'orbite. En différenciant les mesures de phases pour calculer la base, la partie commune à toutes les sources d'erreurs sera annulée. Les erreurs restantes seront en tout premier lieu causées par les différences des récepteurs et des antennes.

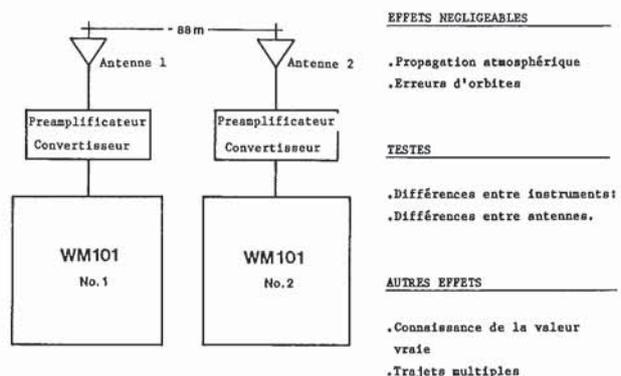


Figure 5 : Configuration du test à base courte.

La différence entre ces estimations de longueurs de base qui sont totalement indépendantes est statistiquement non significative. En considérant que différentes paires de récepteurs ont été utilisées, la concordance des longueurs de la base est excellente. La comparaison avec le test base zéro ne montre aucun changement significatif dans les résultats. Cela montre que les performances des antennes correspondent aux spécifications.

3.4 Test petit réseau

Configuration du test

L'observation répétée d'un petit réseau permet des calculs de fermetures de vecteurs indépendants pour lesquels les vraies valeurs devraient être 0 dans les 3 coordonnées. Ainsi le nombre de fermetures de vecteurs indépendants, C , est donné comme étant :

$$C = (n - 1)(s - 1)$$

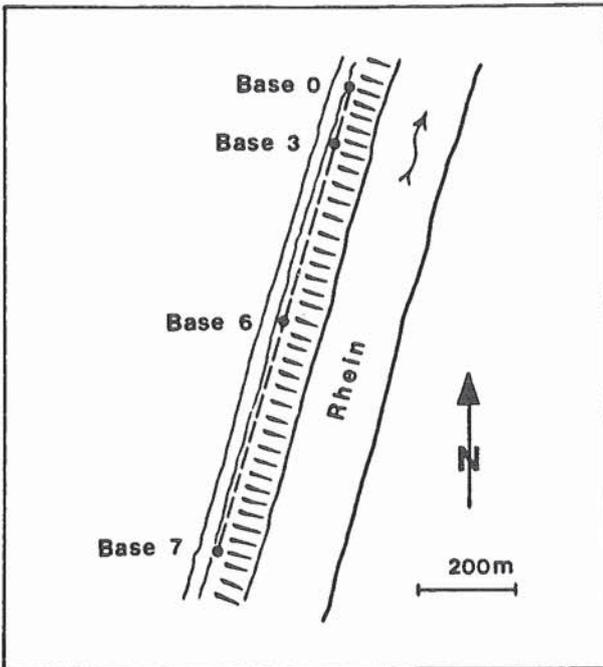


Figure 7 : Croquis des installations de calibration MED près d'Heerbrugg. Seuls les piliers occupés y figurent.

Traitement

Tous les calculs ont été réalisés avec POPSTM. Les détails concernant le traitement sont décrits en (10). Les données des 3 premières nuits (sessions) ont été analysées. Des définitions de base identiques avec Base zéro comme point de référence et les 3 bases suivantes :

- Base 0 - Base 3
- Base 0 - Base 6
- Base 0 - Base 7

Le première étape a été de traiter chaque session comme un réseau à elle seule. Ensuite, les données des 3 sessions ont été utilisées en un seul ajustement. Pour chaque ajustement les paramètres, modèles, et choix suivants ont été sélectionnés :

Résultats

Les erreurs emq des observations de phases individuelles étaient égales à la moitié des valeurs pour les doubles différences figurant dans le tableau 5, c'est-à-dire 2 à 4 mm. Les résultats (tableau 6) des longueurs de base calculées (distance suivant la pente) montrent une répétabilité allant de 0 à 9 mm entre les sessions. Les valeurs

de référence MED (voir tableau 6) sont les moyennes pondérées de séries de mesures utilisant divers MED. La précision peut être considérée égale à 2 mm. Le tableau 6 montre que la déviation maximum des résultats du WM 101 avec la référence MED est de 13 mm. C'est un excellent résultat quand on considère la géométrie plutôt pauvre des satellites pour cette campagne de tests.

	Base 0-Base 3 (m)	Base 0-Base 6 (m)	Base 0-Base 7 (m)
EDM Ref.	116.508	501.514	1001.519
Session 1	116.513	501.518	1001.515
Session 2	116.513	501.524	1001.508
Session 3	116.513	501.527	1001.510
3-session, 4-station Réseau	116.513	501.523	1001.510

Tableau 6 : Longueurs de bases, références MED et valeurs calculées.

- Base 0 - Base 3
- Base 3 - Base 7
- Base 7 - Base 0

pour le calcul des fermetures. Les différences de coordonnées ont été calculées pour chaque session séparément. Les résultats figurent dans le tableau 7. Le système de coordonnées utilisé est le WGS-72. Les polygones pour chaque session montrent de petits écarts de fermetures puisque les bases ont été calculées de façon séparée plutôt que dans un ajustement de réseau pour chaque session. Les petits écarts de fermetures pour chaque "session" indiquent qu'aucune erreur grossière n'a été faite. Ce ne sont pas des mesures de la précision d'observation puisque les résultats des 3 bases ne sont pas indépendants.

Comme cela a été expliqué précédemment, seulement 4 fermetures indépendantes peuvent être formées pour le triangle (0-3-7) qui a été simultanément observé par 3 récepteurs pendant 3 sessions indépendantes. Dans le tableau 8 figure la formulation de 4 fermetures différentes. Les écarts de fermetures sont calculés en utilisant les différences de coordonnées appropriées figurant dans le tableau 7. Ils sont repris dans le tableau 8 (en ΔX , ΔY , ΔZ et longueur $|FI|$).



De jour comme de nuit, le système Wild-Magnavox WM 101 détermine avec précision les coordonnées x , y , z , de points sans visibilité. La photographie a été prise au stade Olympique de Munich.

Sachant que IFI est la somme des erreurs "vraies" de la base, on peut calculer la valeur rms d'une détermination de base m_b en utilisant la formule :

$$m_b = \left[\frac{K \sum_{k=1}^4 f_k^2}{sn} \right]^{1/2}$$

formule qui donne avec nos données $m_b = 3,3$ mm. Puisque les bases sont plutôt courtes, m_b peut être comparée au terme constant de la spécification de la précision du WM 101.

Cela confirme l'excellente performance des récepteurs WM 101 pour les mesures sur le terrain. Ce résultat correspond à l'idée que l'on s'était faite de la précision globale des mesures GPS schématisée par la figure 1.

4. CONCLUSION

La Satellite Survey Company Wild-Magnavox a lancé récemment ses premiers produits, le WM 101 et le

POPSTM. Trois configurations de test ont été désignées afin de vérifier la performance des récepteurs et des antennes du WM 101. Les 3 configurations étaient les suivantes : un réseau base zéro, base courte et un petit réseau.

Pour tous les ensembles de données calculés, le rms pour une simple phase d'observation a été calculé inférieur à 3 mm. Les tests à base zéro et à base courte ont montré que les récepteurs et l'antenne avaient une performance bien meilleure que celle établie dans le terme constant de la spécification de la précision pour le récepteur WM 101 (10 mm).

Les résultats du test petit réseau et particulièrement les fermetures de vecteur (3,3 mm rms pour une longueur de base déterminée indépendamment) montre l'excellente performance de l'équipement de positionnement par satellite GPS WM 101.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) SCHERRER R. The WM GPS Primer (1985) : Special Publication, WM Satellite Survey Company.
- (2) STANSELL TA Jr, CHAMBERLAIN SM, BRUNNER FK (1985) : The First Wild-Magnavox GPS Satellite Surveying Equipment : WM101. Proc First Int Symp on Precise Positioning with GPS, Rockville, US Dept of Commerce : 147 - 160.
- (3) HEISTER H, SCHÖDLBAUER A, WELSCH W (1985) : Macrometer Measurements 1984 in the Inn Valley Network. Proc First Int Symp on Precise Positioning with GPS, Rockville, US Dept of Commerce : 567 - 578.
- (4) GOAD CC, Sims ML, Young LE (1985) : A Comparison of Four Precise Global Positioning System Geodetic Receivers. IEEE Transactions GE-23 : 458 - 466.
- (5) HOTHM LD, FRONCZEK CJ (1983) : Report on Test and Demonstration of Macrometer (TM) Model V-1000 Interferometric Surveyor. FGCC Report : FGCC-IS-83.2.
- (6) HEINEKE U (1984) : Ergebnisse von Macrometer-Messungen in Niedersachsen und Vergleiche mit anderen Verfahren. Paper presented at the Seminar "GPS-

- System und Macrometer-Messungen" Bonn (28 nov. 1984).
- (7) VANICEK P, BEUTLER G, KLEUSBERG A, LANGLEY RB, SANTERRE R, WELLS DE (1985) : DIPOP - Differential Positioning Program Package for the Global Positioning System. UNB-Surveying Engineering-Technical Report n° 115.
- (8) GERVAISE J, MAYOUD M, BEUTLER G, GURTNER W (1985) : Tests of GPS on the CERN-LEP Control Network. Proc Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys. Uni BW Vermessungswesen Heft 20 : 337 - 358.
- (9) CHAMBERLAIN SM, EASTWOOD R, MAENPA J (1986) : The WM101 GPS Satellite Surveying Equipment. Proc Fourth Int Geod Symp on Satellite Positioning, Austin, in print.
- (10) FREI E, GOUGH R, BRUNNER FK (1986) : POPS™ : A New Generation of GPS Post-Processing Software. Proc Fourth Int Geod Symp on Satellite Positioning, Austin, in print.

Le Bureau et le Conseil de l'Association Française de Topographie souhaitent aux membres, lecteurs d'XYZ et sympathisants une :

Bonne Année 1987

Happy New Year

Fröhliches Neujahr

Feliz Año Nuevo

Beste Wensen Voor 1987

Glaedelig Jul og Godt Nyttår

Hyvää Joulua ja Onnellista Uuta Vuotta

Gott Nytt År 1987

De Beste Ønsker for 1987

La Multi Ani

Boldog Új Évet

Najlepsze Zyczenia W 1987 r.

祝賀新年

สวัสดีปีใหม่

Iyl Seneler

1987 מיטב האיהולים לשנת

Поздравление

كل ما وانتم خير

Migliori Auguri per l'Anno 1987

Bom Ano Novo 1987

福

賀

新

禧