

Nouvelle précision des récepteurs GPS de poche

■ Paul COURBON Ingénieur IGN, géomètre-expert

Depuis 2001, la suppression de certaines dégradations volontaires des signaux émis par les satellites a amené une très sensible amélioration de la précision des GPS de poche. Il était intéressant de faire une série de mesures sur des points déjà connus avec précision. A condition de faire les calages adéquats, la précision des récepteurs GPS de poche est étonnante.

MOTS CLES

GPS de poche, dégradation, écart-type, étalonnage.

Rappel

Peut-on dire que le GPS soit l'enfant de l'ambitieux programme américain de la guerre des étoiles ? Il y a plus de trente ans, on avait eu l'idée de se servir des satellites pour se positionner sur terre. L'IGN, entre autres, s'était attaqué au problème de la géodésie spatiale avant 1970. Mais, la technique débutante, le nombre restreint de satellites, leur basse altitude (800 km pour 20 000 aujourd'hui), des moyens de calcul qui n'étaient pas ceux actuels, avaient rendu cette gestation laborieuse. Malgré les recherches entreprises, la précision était de l'ordre de 5 mètres, puis elle devint métrique, ce qui était incompatible avec une géodésie de précision, mais permettait de mieux orienter un réseau national. C'est ce qui avait été fait lors de l'élaboration de la géodésie jordanienne à laquelle j'avais participé en 1983.

Le GPS (Global Positioning System), démarra en 1978 avec le lancement d'un premier satellite. Les programmes de calcul ont été faits en 1980. Ils avaient été conçus pour 1024 semaines, ce qui créa des problèmes d'actualisation en août 1999. Problèmes qui furent résolus avec ceux dus au passage au troisième millénaire.

Au départ, ce programme avait été conçu dans un but de navigation, avec une précision absolue de 20 mètres, dans un système de référence mondial

et une précision horaire d'une micro-seconde.

Cependant, il fallut attendre 1985 pour que les 11 satellites de la première tranche soient lancés et que le système devienne quasi opérationnel. Mais au départ, ce nombre restreint de satellites, des moyens informatiques et électroniques qui n'étaient pas les moyens actuels, rendaient les observations longues et laborieuses. Le nombre insuffisant de satellites rendait de nombreuses périodes inobservables pour les déterminations de précision.

A partir de 1989, et, jusqu'en 1993, une série de 28 satellites fut lancée. Le système fut déclaré pleinement opérationnel en février 1994.

■ Le GPS différentiel

Le GPS ayant été créé à des fins militaires, malgré les recommandations du congrès américain, ces derniers voyaient d'un œil méfiant son utilisation par les civils. Aussi, l'armée américaine généra-t-elle des dégradations volontaires sur les signaux émis, de manière à limiter la précision. Mais, la parade vint très vite avec un procédé différentiel. C'est-à-dire qu'on imagina de travailler avec deux GPS : Un GPS fixe qui permettait d'enregistrer toutes les variations en un point et un autre GPS qui se déplaçait sur les points à déterminer. Les altérations étant les mêmes sur les deux GPS, une parfaite

synchronisation permettait de les annuler par différence. En se calant sur un ou plusieurs points connus, on obtint ainsi rapidement des précisions centimétriques qui rendaient caduques les altérations générées par les militaires ! Il fallut attendre presque quinze ans pour que l'armée américaine se rende à l'évidence et supprime certaines dégradations devenues inutiles.

Cependant, ces dégradations n'étant pas les seules causes d'imprécision, le procédé différentiel est toujours employé pour toutes les mesures précises. Avec un GPS bi-fréquence différentiel, on obtient maintenant couramment des précisions de l'ordre de 5mm \pm 1mm/km. Lors de reprises de mesures, un an ou deux après, il m'est souvent arrivé de retomber à 1 cm près sur des points situés à 10 km. D'ailleurs, des mesures d'une précision inférieure au centimètre ont été effectuées pour mesurer le déplacement des plaques terrestres et cela sur plusieurs centaines de kilomètres. C'est ce qui s'est fait, entre autres, entre la France et l'Espagne pour étudier les variations de la chaîne des Pyrénées. Mais dans ce cas, les temps de mesure sont beaucoup plus longs et les calculs demandent l'emploi de logiciels spéciaux.

Comme on s'en doute, la précision coûte cher. La paire d'un bon GPS bi-fréquence vaut plus de 45 000 € (300 000 F). Ce prix pose des problèmes, même aux professionnels.

Le GPS ayant été créé à des fins militaires, malgré les recommandations du congrès américain, ces derniers voyaient d'un œil méfiant son utilisation par les civils. Aussi, l'armée américaine généra-t-elle des dégradations volontaires sur les signaux émis, de manière à limiter la précision. Mais, la parade vint très vite avec un procédé différentiel. C'est-à-dire qu'on imagina de travailler avec deux GPS : Un GPS fixe qui permettait d'enregistrer toutes les variations en un point et un autre GPS qui se déplaçait sur les points à déterminer. Les altérations étant les mêmes sur les deux GPS, une parfaite synchronisation permettait de les annuler par différence. En se calant sur un ou plusieurs points connus, on obtint ainsi rapidement des précisions centimétriques qui rendaient caduques les altérations générées par les militaires!

Les petits récepteurs GPS

Maintenant, l'emploi du GPS de poche s'est généralisé, démocratisé pourrais-je dire. Les promeneurs, excursionnistes et autres peuvent en acquérir sur le marché à moins de 300 € (2 000F)! N'importe qui, sans connaissance spéciale, peut se positionner sur une carte. Le marin n'a plus besoin de son sextant, et dans le désert, les concurrents du Paris-Dakar n'ont plus le droit de se perdre!

Le GPS a apporté un progrès énorme, mais il a fait perdre la part d'incertitude et l'acquis d'expérience qui, dans le désert par exemple, sont le sel de l'aventure...

Fin 1992, avant une expédition en Nouvelle-Guinée, on m'avait prêté une de ces petites merveilles récemment apparues sur le marché. J'étais allé la tester sur une dizaine de points IGN. J'avais eu des écarts compris entre 50 et 250 mètres.

Mais, il y eut des progrès. Quelques années plus tard, en employant un GPS en poste fixe et un autre itinérant, on pouvait annoncer 25 à 30 mètres de précision en essayant de bien caler les temps d'observation.

Début 2000, j'eus encore l'occasion d'utiliser un tel appareil. En restant à un endroit fixe, on pouvait constater les altérations créées par les militaires. En un quart d'heure, les coordonnées variaient de près de 100 mètres, allant et venant autour d'une position moyenne.

La fin des messages d'erreur

En 2001, l'armée américaine cessait d'émettre certains messages d'erreur qui altéraient les signaux. J'ai voulu alors voir quelle en était la conséquence sur les petits GPS et contrôler si la précision affichée (3 à 5m) était réelle. En compagnie de Jean-Pierre Lucot, j'ai fait 37 mesures, sur deux points IGN et sur des points que j'avais préalablement mesurés avec un GPS bifrèquence LEICA, de précision centimétrique. Par rapport à ce que j'avais vu précédemment, j'ai été stupéfait, j'ai obtenu une précision que je n'aurais jamais osé imaginer.

Tests de mai et juin 2001

Nous avons procédé en deux temps, de manière à bien faire apparaître, d'une part l'écart-type qui caractérise la précision et, d'autre part, les défauts de calage sur les différents référentiels employés en topographie.

■ L'écart-type

L'écart-type caractérise la précision d'une mesure. Il est issu de la théorie des probabilités et est défini dans l'étude de la courbe de Gauss.

Faisons n mesures $A_1, A_2, A_3...A_n$ d'une quantité A . Soit A_m la moyenne de ces mesures.

Formons les n différences : $e_1=(A_1-A_m)$, $e_2=(A_2-A_m)$, $e_3=(A_3-A_m)$, etc...qui définissent l'écart de chaque mesure par

rapport à la moyenne des mesures (A_m). C'est à partir de ces écarts que l'on va rechercher une définition de la précision. La précision est exprimée par l'écart-type, appelé autrefois erreur moyenne quadratique et nommé par les anglais "standard deviation". D'une manière mathématique, il a pour expression :

$$\text{Ecart-type} = \sqrt{\frac{(e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \dots + e_n^2)}{n-1}}$$

■ L'étalonnage

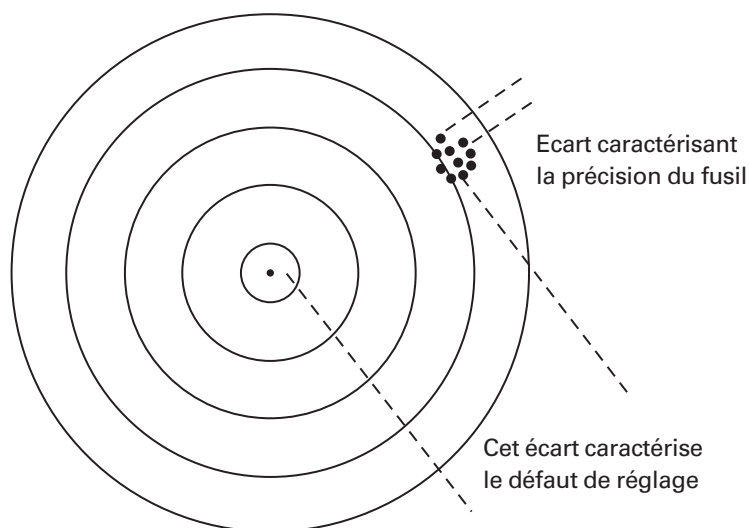
Une mesure peut être précise parce qu'elle fait partie d'une série où il y a peu d'écarts entre les différentes mesures. Mais, cette mesure peut-être éloignée de la valeur vraie, parce qu'il y a un défaut de réglage ou d'étalonnage de l'appareil. La façon la plus facile de le faire comprendre est l'exemple du tir au fusil sur une cible.

Visons une cible lointaine et coinçons le fusil dans un dispositif qui l'empêche de bouger. Tirons plusieurs coups. La distance étant lointaine et le fusil n'étant pas un instrument parfait, il n'y aura pas un trou unique, mais plusieurs trous regroupés dans un très petit espace. Mais cet espace n'est pas centré sur la cible, il va se trouver par exemple à 10 cm au nord-est du centre. Le regroupement des tirs dans un petit espace prouve que le fusil est précis. Cette précision sera calculée à partir de l'écart de chaque impact par rapport au point moyen. ■■■

■ ■ ■ Le fait que le point moyen des impacts soit éloigné du centre de la cible prouve que la ligne de mire du fusil est mal réglée. Il suffira de faire le réglage adéquat (étalonnage) pour ramener le centre des points d'impacts sur le centre de la cible. Le fusil étant bien réglé, on pourra alors utiliser au mieux sa précision.

■ Premier test

Il a été effectué pour déterminer directement l'écart type. Nous avons mesuré 20 points, situés dans un rayon de 100 mètres; d'abord avec le GPS bi-fréquence LEICA, ce qui nous donnait une figure cohérente où les 20 points avaient une précision de 1cm les uns par rapport aux autres. Nous avons calé cette figure sur les coordonnées du point 1 donné par le petit GPS de poche. Nous étions ainsi dans le même système, calés d'une manière identique. Les écarts sur le point 1 étaient donc de 0.



Après réglage de la ligne de mire, toutes les balles seront proches du centre de la cible

Les écarts sur les autres points entre la mesure GPS de poche et la mesure LEICA étaient liés directement à la précision du GPS de poche. Nous en avons

déduit directement les écarts-types, donc la précision du GPS de poche. Lors des calculs en post-traitement, nous avons imposé au GPS LEICA de préci-

Test 1 : mesures du 20 mai 2001 - Secteur "Tête du Cade", au Beausset (Var).

N° Point	GPS de Poche			GPS / LEICA.bifréquence			Ecart Absolus		
	x (m)	y (m)	alt (m)	x (m)	y (m)	alt (m)	Dx (m)	Dy (m)	Dalt (m)
1	731258	4790779	517	731258.0	4790779.0	517.0	0.0	0.0	0.0
2	731248	4790775	517	731249.3	4790778.5	516.2	1.3	3.5	0.8
3	731253	4790785	517	731250.6	4790787.9	516.6	2.4	2.9	0.4
4	731249	4790783	517	731247.1	4790784.0	516.3	1.9	1.0	0.7
5	731244	4790793	517	731239.3	4790292.5	515.9	1.1	1.9	0.8
6	731240	4790793	517	731239.3	4790792.5	515.9	0.7	0.5	1.1
7	731239	4790806	517	731236.6	4790807.0	516.4	2.4	1.0	0.6
8	731234	4790800	517	731234.2	4790803.5	516.1	0.2	3.5	0.9
9	731218	4790808	516	731217.8	4790809.0	515.2	0.2	1.0	0.8
10	731214	4790803	516	731214.9	4790805.2	514.9	0.9	2.2	1.1
11	731210	4790817	516	731212.6	4790817.4	515.2	2.6	0.4	0.8
12	731211	4790815	516	731208.1	4790814.1	514.8	2.9	0.9	1.2
13	731204	4790824	516	731202.7	4790824.2	514.7	1.3	0.2	1.3
14	731199	4790822	516	731197.3	4790819.4	514.3	1.7	2.6	1.7
15	731196	4790831	515	731195.0	4790829.6	514.4	1.0	1.4	0.6
16	731195	4790830	515	731194.1	4790828.3	514.2	0.9	1.7	0.8
17	731181	4790840	514	731181.1	4790837.7	513.8	0.1	2.3	0.2
18	731178	4790836	514	731178.1	4790836.4	513.6	0.1	0.4	0.4
19	731172	4790845	513	731172.0	4790842.4	513.4	0.0	2.6	0.4
20	731170	4790840	513	731170.5	4790837.3	513.2	0.5	2.7	0.2

Ecart moyen (m)	1.1	1.6	0.7
Ecart-type (m)	± 1.5	± 2.1	± 0.9

sion centimétrique des coordonnées identiques à celles données par le GPS de poche sur le point de départ. Nous obtenons ainsi des écarts utilisables directement pour le calcul de la précision (écart-type). L'écart en altitude aurait du être supérieur aux écarts en x et y. Il est sans doute meilleur ici parce que nous avons travaillé dans une zone restreinte.

Nota : Le 1^{er} décembre 2001, soit plus de six mois après, nous avons repris 5 des points précédents au GPS de poche. L'écart moyen en x était de 2,1m, et en y de 2,0m. L'écart maximum était de 4,4m.

■ Deuxième test

Il était destiné à confirmer les mesures précédentes, mais surtout à contrôler que les calages du GPS de poche sur les référentiels terrestres étaient bons (étalonnage). Nous avons mesuré avec le GPS de poche deux points géodésiques IGN et d'autres points de précision centimétrique précédemment déterminés au GPS LEICA bi-fréquence. Ces points étaient assez éloignés les uns des autres, certaines distances dépassant 10 kilomètres.

De plus, nous avons repris certains points deux heures après pour s'assurer que les coordonnées n'avaient pas varié sensiblement avec le temps.

L'écart en altitude de 17h40 à PTT Lauves est hors tolérance. Nous l'avons supprimé.

Les écarts-types en x et y confirment ceux trouvés précédemment.

Ceux en altitude sont plus conformes à la réalité que précédemment

En altitude, l'écart moyen par rapport à la position vraie, signifie que le GPS utilisé n'est pas réglé pour la zone de travail. Il a été réglé pour une zone où la hauteur de géoïde par rapport à l'ellipsoïde est de 38 mètres, alors que dans notre zone de travail, elle est 49 mètres. Il faudra abaisser les altitudes trouvées de 11 mètres.

Les abscisses x sont bien calées, l'écart moyen de 1.6m étant peu significatif. Les ordonnées y seront à corriger de - 4 mètres.

Quand on regarde les résultats au bas du tableau, la précision en altitude est

Test 2 : Mesures du 9 juin 2001 dans la région du Luc (Var)

Point	Heure	Précision affichée	Dx (m)	Dy (m)	Dalt (m)
RN67 bis	15h30	4 m	+4.6	+5.6	+13.5
			+3.6	+4.6	+11.5
	18h16	5 m	+0.4	+3.6	+9.5
Réservoir Le Cannet	15h50	5 m	+4.5	+7.0	+14.0
	17h58	5 m	+1.5	+6.0	+10.0
RN/rd17	16h01	5 m	+2.2	+3.9	+8.2
	18h06	4 m	+1.2	+3.9	+15.2
Pont Argens	16h16	4 m	+3.3	+1.2	+7.2
S.14 Péch.	16h27	4 m	+0.6	+3.7	+9.2
Lac Carcés	16h38	4/5 m	-0.6	+4.1	+15.6
Dumez	16h44	4 m	+0.4	+3.9	+8.7
RN citerne	16h58	4 m	+1.9	+5.8	+9.5
Bne Autor.	17h05	4 m	+0.5	+5.1	+9.4
Le Luc VII	17h28	7 m	+0.7	+6.1	+14.5
PTT Lauves	17h40	7 m	-1.3	+3.1	+25.3
	17h44	4 m	+2.7	+4.1	+14.3
RN Lauves	17h48	5 m	+1.3	+0.9	+12.2
Ecart moyen par rapport à la position vraie (m)			+ 1.6	+ 4.3	+ 11.4
Ecart-type par rapport à la moyenne (m)			± 1.4	± 1.7	± 2.4

de l'ordre de 2.4m. L'écart moyen de 11,5 mètres correspond à l'erreur d'étalonnage dont nous avons donné précédemment une image avec la cible

■ Corrections à apporter

Il suffira d'inclure dans une séance de travail un contrôle sur plusieurs points connus, bornes IGN et repères de nivellement, par exemple, que l'on prendra en début et en fin de travail. On pourra ainsi en déduire une correction en x, y et surtout altitude.

■ Analyse des résultats.

Ils sont excellents pour des petits GPS de poche. La précision graphique de report sur les cartes est de l'ordre de 2/10 de mm. Pour une carte IGN 1/25 000, 2/10 mm correspondent à 5 m sur le terrain. Cela veut dire que nous sommes largement dans les tolérances. La précision affichée sur

les GPS, lors des mesures est cohérente avec la réalité. On peut faire du complètement des cartes IGN avec un GPS de poche, moyennant une procédure adéquate d'observations et de calculs. ●

ABSTRACT

Since 2001, suppression of some voluntary degradations from satellites signals greatly improved pocket GPS accuracy. It was interesting to do measurement series on precise known points. Using the correct adjustments, the new accuracy is surprising!

KEY-WORDS : Pocket GPS, degradation, standard-deviation, calibration.