

Utilisation et précision du GPS

Robert BARBIER

le 6 février 2010

Interpellé par des remarques entendues lors d'un stage de formation d'initiateur FFCAM et dans le forum de Richard SCAURI gps-gnss@yahogroupes.fr, il m'a parut intéressant de faire le point sur le problème de la précision des GPS.

On a trop tendance à considérer le GPS comme un outil absolu, on a trop tendance à oublier les fondamentaux de son fonctionnement.

Des observations

1. Sur le forum de Richard, un abonné se plaignait que lors d'une sortie nocturne en raquettes dans le Vercors, son GPS s'était complètement dérégulé, indiquant le NORD au SUD, bref qu'il n'était plus utilisable et puis au bout d'un certain temps, le GPS s'était mis à remarquer correctement. Il était revenu le lendemain sur les lieux, tout fonctionnait normalement et il ne comprenait pas pourquoi.
2. J'ai entendu dire lors du stage qu'il y avait des algorithmes qui pouvaient être utilisés pour pallier une mauvaise couverture satellitaire ou le manque de satellites et que certains modèles ne l'avaient pas.
3. Dans le même stage, des discussions sans fin entre possesseurs de GPS pour situer un point avec une précision inférieure à 10 mètres.
4. Il est possible de lire sur le web, (sur le site de MIO pour ne pas le nommer) *Le système GPS indique votre emplacement, votre altitude et votre vitesse **avec une précision quasi parfaite**; cependant, certaines sources d'erreurs intrinsèques doivent être prises en compte lorsqu'un récepteur lit des signaux GPS provenant de la constellation de satellites en orbite au-dessus de nos têtes.*

*La principale source d'erreurs des récepteurs GPS est due au chronométrage inexact de l'horloge du récepteur. Les signaux radio micro-ondes se déplaçant à la vitesse de la lumière **à partir de trois satellites au minimum** sont utilisés par l'ordinateur intégré du récepteur pour calculer sa position, son altitude et sa vitesse.*

*De petites divergences entre l'horloge intégrée du récepteur GPS et l'heure GPS, qui synchronise l'ensemble du système GPS, suffisent à provoquer des erreurs de calcul des distances. Il existe deux solutions à ce problème. La première consiste à placer une horloge atomique, dont le prix s'élève à 100 000 €, dans chaque récepteur. La seconde **consiste à utiliser des astuces mathématiques pour compenser l'erreur de chronométrage en fonction de la façon dont les signaux de trois satellites ou plus sont détectés par le récepteur**, ce qui permet à ce dernier de réinitialiser son horloge. Cette seconde méthode constitue la solution la moins coûteuse utilisée par les fabricants de systèmes de navigation par satellite.*

*Une autre source d'erreurs intrinsèque est liée au fonctionnement du système. **Les récepteurs GPS analysent trois signaux** provenant des satellites et calculent le temps mis par chaque signal pour parvenir jusqu'à eux. Ils effectuent alors **un calcul de trilatération** pour indiquer l'emplacement exact du récepteur. Le débit de transmission des signaux par les satellites est spécifique. Malheureusement, le détecteur électronique intégré aux systèmes GPS standard n'est exact que jusqu'à 1 % d'un « bit time ». Cela correspond environ à 10 milliardièmes de seconde (ou 10 nanosecondes). Comme les signaux GPS micro-ondes se déplacent à la vitesse de la lumière, cela équivaut à une erreur d'environ 3 mètres. **Ainsi, les GPS standard peuvent déterminer une position à 3 mètres près.** Les récepteurs plus sophistiqués utilisés pour les applications militaires sont dix fois plus précis, avec une marge d'erreur de 300 millimètres seulement.*

Je ferais le commentaire sur ce texte de MIO que si la guerre économique autour de cette technologie est bien réelle, elle ne doit pas conduire le marketing à écrire des inepties car ce genre de stupidités ne peuvent que nuire aux esprits des utilisateurs et les rendre complètement perdus lors d'un mal fonctionnement.

Les fondamentaux du GPS

La position d'un observateur sur la surface de la terre est déterminée dans un système de coordonnées attaché à la terre (ECEF = Earth Centered Earth Fixed) dont l'origine est le centre de la terre (latitude, longitude, altitude).

Dans le même temps, un satellite GPS décrit une orbite elliptique presque circulaire dont le rayon moyen est d'environ 26 000 km (4 fois le rayon de la terre) parcourue en 12 heures environ. Les caractéristiques de cette orbite sont connues avec une grande précision dans le système de coordonnées de Kepler et doivent être converties dans le système ECEF.

L'observateur GPS reçoit au temps t un message du satellite qui a été envoyé environ 60 millisecondes auparavant. Ce message codé fournit de nombreuses informations dont la position exacte du satellite dans le système de Kepler ainsi que l'heure exacte de l'horloge atomique du satellite au moment de l'envoi.

Pendant le temps de transfert du message, l'observateur GPS se sera déplacé du fait de la rotation de la terre (environ 30 mètres s'il est situé à l'équateur) (et il a mémorisé dans son système d'horloge l'instant où il a commencé à recevoir le message)

Afin de calculer la distance entre l'observateur GPS et le satellite, il faudra tenir compte de ce déplacement ; cette distance n'est donc pas simplement égale au produit (vitesse de la lumière x temps de transmission).

Pour différentes raisons, il y a des perturbations qui viennent compliquer ce calcul de la distance :

- erreurs dues à l'ionosphère
- erreurs dues à la troposphère
- erreurs dues à la désynchronisation des horloges du satellite et de l'horloge du GPS
- erreurs systématiques dues aux effets relativistes
- erreurs dues aux effets dus à la réflexion des ondes sur des obstacles

L'équation qui calcule en définitive la distance contient 4 inconnues : les 3 coordonnées X, Y, Z du GPS et l'erreur de synchronisation globale. Pour la précision d'un GPS grand public, on néglige les erreurs dues à l'ionosphère et à la troposphère. Pour résoudre mathématiquement ces 4 inconnues, il faut donc 4 équations donc il faut au moins 4 satellites.

La vitesse de calcul peut être accélérée

- si on part d’une position approximative X_0, Y_0, Z_0 du GPS à un moment donnée, par exemple à partir d’une ancienne mesure
- si on prend la position du satellite quand il a commencé à envoyer son message

pour calculer une première estimation de la distance entre le satellite et le GPS

Puis on corrige cette première valeur en tenant compte du temps de transmission du message et essayer de converger par itération vers une valeur de la distance satellite-GPS.

Entre temps, de nouvelles données plus actuelles auront été envoyées par les satellites et le processus peut recommencer de manière itérative.

Ceci est à faire pour au moins 4 satellites visibles par des méthodes de calcul élaborées (moindre carrés, algorithme de Choleski)

Erreur de position

Cette précision dépend d’un certain nombre de facteurs, dont les 2 plus importants sont :

- le nombre de satellites « visibles » (au moins 4)
- la configuration des satellites visibles, plus de 4 satellites groupés dans une même région du ciel conduisent à une précision plus faible que le même nombre de satellites judicieusement répartis dans la constellation au-dessus de l’observateur.

L’indicateur typique, appelé « DOP (Dilution of Precision) » quantifie la précision en fonction des positions relatives des satellites visibles. Il est composé de

- GDOP : Dilution de précision géométrique
- PDOP : Dilution de précision de position
- HDOP : Dilution de précision horizontale
- VDOP : Dilution de précision verticale
- TDOP : Dilution de précision du temps

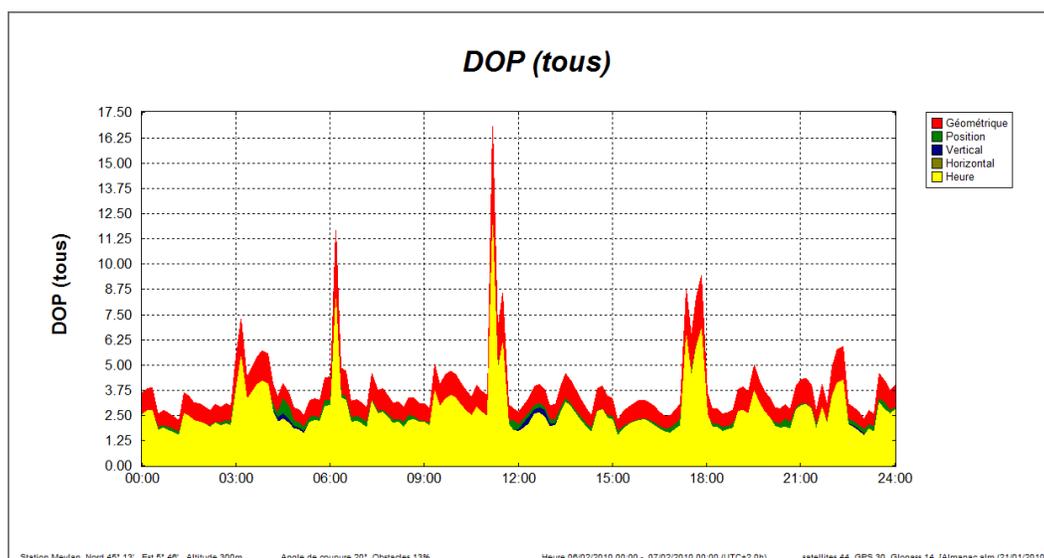
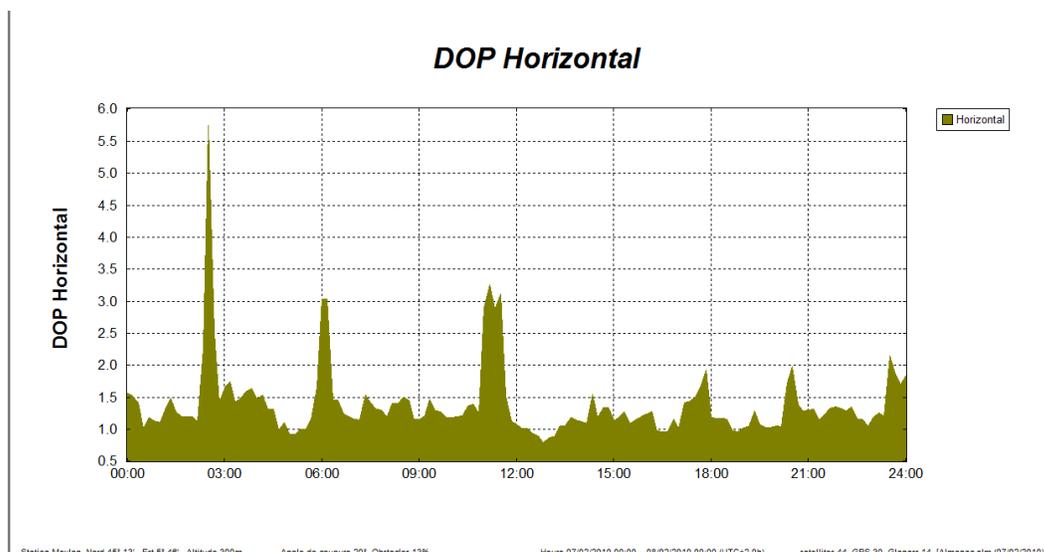
Ces indicateurs permettent de connaître, pour une configuration données de satellites visibles, comment l’erreur globale de position se répartit (horizontalement, verticalement, ou les deux à la fois, ou selon le temps).

Connaissant l’almanach des satellites, la société « TRIMBLE » propose gracieusement un logiciel « PLANNING » qui permet de calculer ces indices pour un endroit donné et à un moment donné, pendant une période donnée. On peut ainsi constater qu’à un temps donné, le GDOP peut être de 1,45 alors que 10 minutes plus tard, il sera de 11,29 et encore 10 minutes après, il sera de 170.

Paul CORREIA (Guide Pratique du GPS aux éditions Eyrolles) donne le tableau suivant donnant la précision horizontale en fonction du coefficient HDOP :

Valeur du HDOP	Précision horizontale en mètres
1	25
2	50
3	75
4	100
5	125
6	150
8	200
12	300

Exemple de données issues de « PLANNING »



Conclusions

On voit ainsi que de par sa technologie intrinsèque, le GPS peut avoir des moments dans la journée où il est mauvais ou même inopérant. Ce n'est pas l'outil quasi-parfait dont parle MIO.

Dans notre domaine de la randonnée en montagne, c'est un outil de secours, c'est un outil en cas de,...

Si on veut s'en servir comme outil de travail pour conduire un groupe, il faut impérativement préparer ses parcours avec les méthodes traditionnelles de construction d'un itinéraire et être prêt à pallier ses insuffisances qui en général surviennent dans les moments les plus critiques (loi de Murphy oblige).

On espère qu'enfin GALILEO puisse fonctionner un jour et apporte une amélioration dans la couverture satellitaire de façon à ce que les indicateurs DOP restent inférieurs à 2 en raison du doublement du nombre de satellites.