

# Étalonnage des récepteurs de mesures par satellites

*Le marché des récepteurs de mesures par satellites étant en fort développement, des applications ont fait leur apparition dans le domaine du trafic routier, ou plus généralement dans la mesure de la vitesse. Par conséquent, l'étalonnage et la vérification devient indispensable.*

DAMIEN LACHAT

En quelques années, les applications de positionnement par satellite ont pris une place toujours plus grande dans notre quotidien, avec par exemple un récepteur dans les nouveaux téléphones portables ou pour l'aide à la navigation dans les véhicules. Les projets actuellement en développement comme Galileo (Europe [1]), COMPASS (Chine [2]) ainsi que IRNSS (Inde [3]) vont prochainement compléter l'offre existante, composée des systèmes américain GPS [4] et russe GLONASS [5].

## Systèmes mono- et multifréquences

Le marché des systèmes GNSS (Global Navigation Satellite Systems) compte deux gammes de produits : les entrées de gamme mono-fréquence (quelques centaines à milliers de francs) et les systèmes plus perfectionnés multifréquences (plusieurs dizaines de milliers de francs). Quant à la précision de la mesure, elle est fonction du nombre de satellites et de fréquences que le récepteur peut gérer, ainsi que du fait qu'un système de correction temps réel soit disponible ou non.

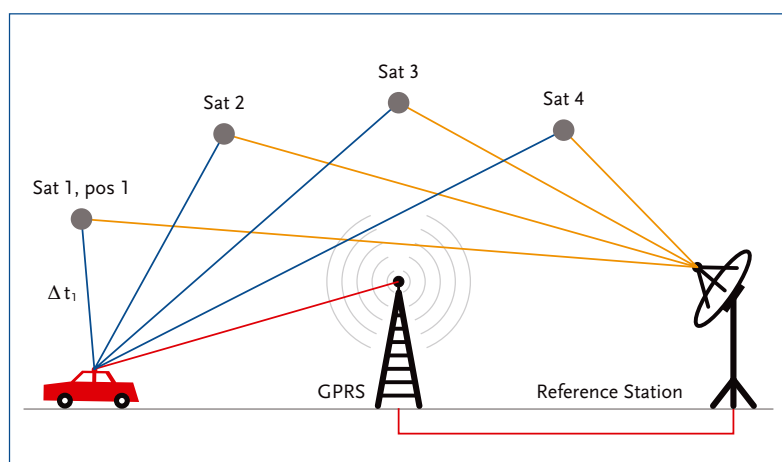
Le laboratoire *Trafic* de METAS est depuis plusieurs années à la pointe de ce type de mesures. Son expérience de l'étalonnage de tels appareils, que ce soit sur le terrain ou à l'aide d'un simulateur, fait de lui un partenaire unique dans le domaine.

## Calcul de la position et/ou de la vitesse

Le récepteur doit résoudre quatre inconnues : sa position spatiale ( $x, y, z$ ) et, du fait qu'il n'a pas une horloge interne assez précise, son temps ( $t$ ). Les satellites envoient quant à eux schématiquement deux informations : leur heure ( $t_x$ ) et leur position spatiale ( $pos_x$ ). Le récepteur doit donc calculer le temps de propagation ( $\Delta t_x$ ) et décoder les messages d'au moins quatre satellites visibles pour déterminer les informations nécessaires au calcul de la position et pour synchroniser les horloges (voir illustration 1).

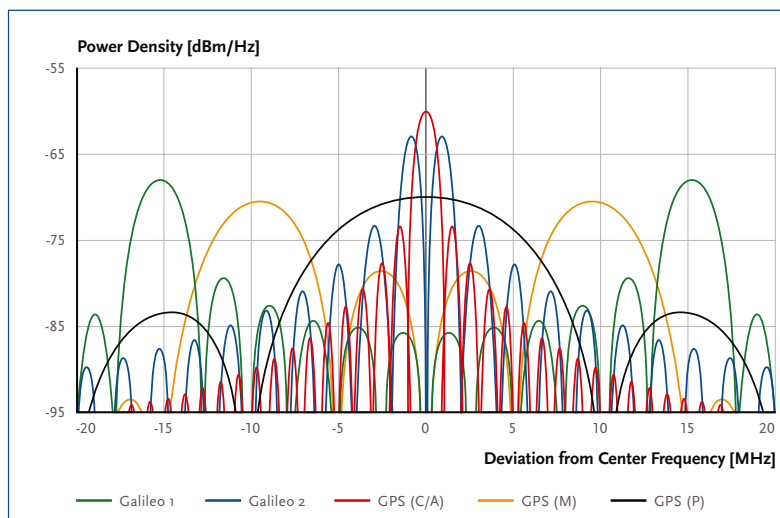
Pour le calcul, il est possible d'utiliser soit les codes de navigation émis par les satellites (code civil C/A ou code militaire P), soit les ondes porteuses. L'utilisation des mesures par code permet en théorie une résolution de l'ordre du mètre; au niveau de la mesure de phase sur la porteuse, la résolution est d'environ 1 % de la longueur d'onde, soit d'environ 2 mm.

Le problème est que le nombre total de périodes de la porteuse entre le satellite et le récepteur est inconnu. Des calculs spéciaux doivent permettre de déterminer cette ambiguïté de phase. En pratique, les sources d'erreurs, comme les erreurs d'orbite, le nombre de satellites visibles et leur distribution dans le ciel, les perturbations des couches atmosphériques, les horloges des satellites et du récepteur, ont une incidence directe sur la précision de la position.



1 Modèle-type de la réception GNSS avec l'option différentielle (en rouge).

2 Exemple des différents signaux sur la porteuse L1 pour GPS et Galileo.



### Méthodes de mesure

Les méthodes de mesure les plus utilisées par les récepteurs sont les suivantes :

- La plus simple consiste à collecter plusieurs couples position-temps et donc de calculer la valeur de la distance et de la vitesse.
- La mesure du changement de la fréquence de la porteuse résultant de l'effet Doppler permet de déterminer précisément la vitesse relative. En connaissant la vitesse et l'orbite de chaque satellite, il est possible de calculer la vitesse du récepteur relativement à la Terre.
- En combinant plusieurs antennes réceptrices, il devient possible de comparer la phase de chaque signal des satellites sur chaque antenne. En assumant que l'onde se déplace de manière planaire, plusieurs paramètres dynamiques peuvent en être déduits.
- La mesure dite différentielle : on mesure avec deux récepteurs distincts, l'un sur un point fixe dont on connaît les coordonnées (station de références) et l'autre sur l'objet mobile. Par le calcul de la différence de mesures entre les stations de référence et l'objet mobile, on parvient à déterminer la différence de coordonnées entre les deux récepteurs. La différence est déterminée de façon plus précise car une grande partie des sources d'erreurs systématiques pour les deux récepteurs sont de même grandeur (s'ils ne sont pas trop éloignés). Ces informations de corrections sont envoyées de la station de référence au récepteur mobile par une connexion sans fil pour permettre la correction des données en temps réel.

Au niveau européen, le satellite EGNOS envoie ces corrections directement au récepteur (WAAS est l'équivalent américain). En Suisse, le service nommé AGNES est proposé par swisstopo [6]; la communication est faite ici par une liaison GPRS, comme montré dans l'illustration 1.

### Les signaux : l'exemple du GPS

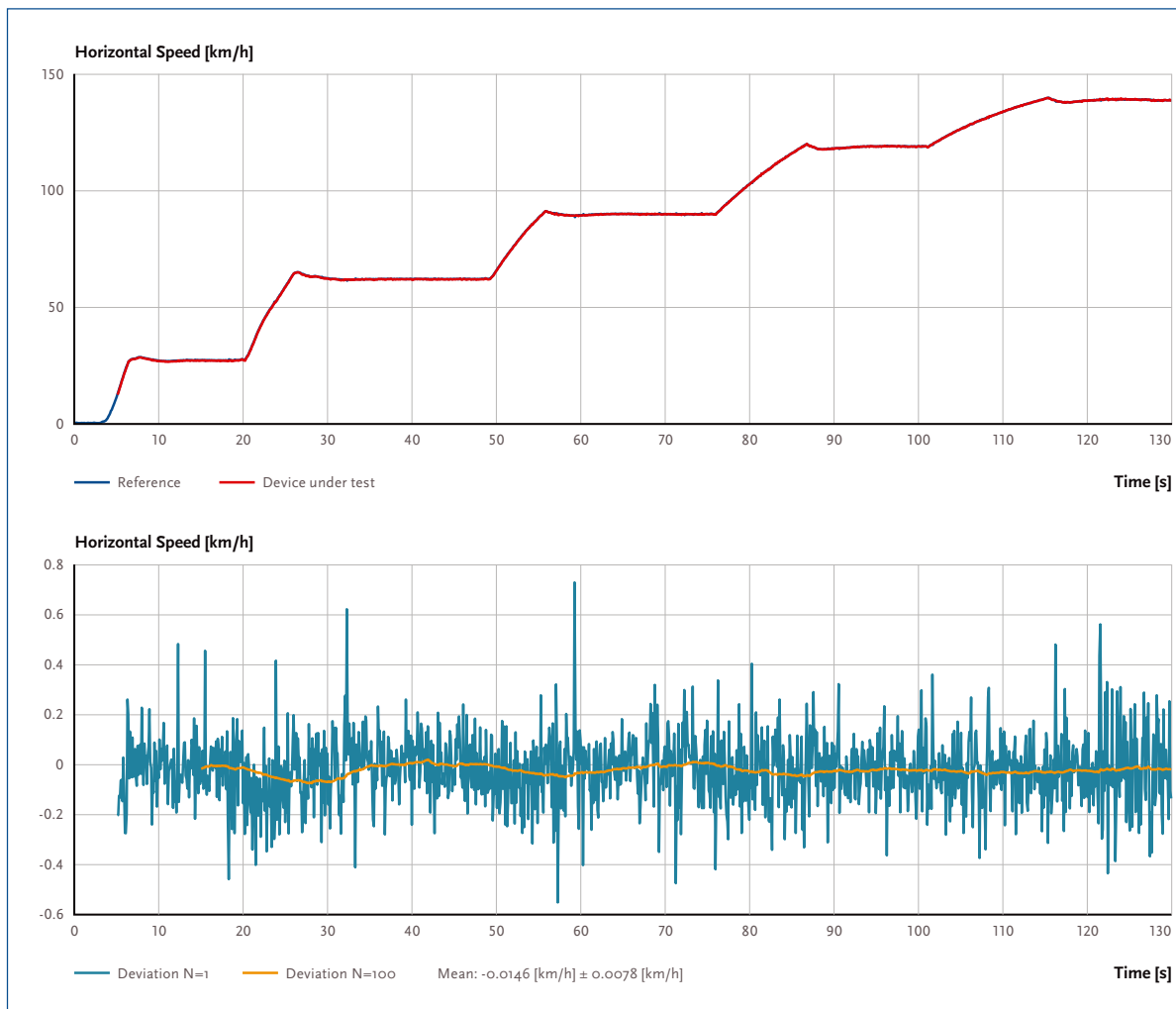
Le système GPS se compose de 32 satellites répartis sur six plans à une altitude d'environ 20 000 km avec une période orbitale de 12 h. Les satellites envoient actuellement des signaux sur deux fréquences de la bande L ( $L_1 = 1575.42$  MHz et  $L_2 = 1227.60$  MHz). Les ondes porteuses sont modulées, ce qui permet d'envoyer un code pseudo-aléatoire (PRN code) et des messages (éphémérides et autres données) au récepteur. Le code civil C/A (coarse/acquisition) transmet les données à 1.023 Mbps et le militaire P à 10.23 Mbps. Les messages sont transmis avec un taux de 50 bit/sec. L'illustration 2 donne une idée des différents signaux sur la porteuse L1.

### La précision de positionnement

À la précision théorique et sans correction, il faut ajouter des incertitudes issues de la stabilité de l'horloge (1 m ... 3 m), la perturbation de l'orbite (1 m ... 5 m), les éphémérides (2 m ... 4 m), la ionosphère (30 m), la troposphère (2 m ... 20 m), les chemins multiples (1 m ... 3 m), le bruit (1 m ... 10 m) et la température (3 mm/K). Par comparaison, voici les incertitudes (2 sigma) typiques d'un récepteur GPS :

- GPS avec bonnes conditions de réception : 20 m;
- GPS avec correction EGNOS : 2 m;
- GPS avec correction Swisstopo AGNES : 2 cm.

Pour atteindre la précision voulue, il faut donc soit multiplier les sources (certains récepteurs permettent de capter GPS et GLONASS), soit augmenter le nombre de mesures (typiquement des taux de répétitions de mesures de 10 Hz ou 100 Hz), soit avoir des modèles de correction (typiquement des modèles atmosphériques), soit effectuer des corrélations ( $L_1$  et  $L_2$  pour corriger les erreurs atmosphériques en temps réel) ou encore utiliser des mesures différentielles (EGNOS, AGNES).



3 Résultats de la mesure de vitesse « terrain » : en haut les paliers de vitesse et en bas la déviation de l'instrument par rapport à notre référence (en bleu). La courbe ocre est un lissage obtenu en moyennant 100 valeurs.

**Les possibilités de mesures de METAS sur le terrain**

La référence du laboratoire *Trafic* permet la corrélation de 72 canaux GPS et GLONASS, la réception des deux porteuses L1 et L2, des code de navigation civil C/A et militaire P et des corrections AGNES de Swisstopo par GPRS, le tout à un taux de mesure de 12.5 Hz. L'incertitude de mesure (2 sigma) en temps réel est de 2 cm pour la planimétrie et de 4 cm en altimétrie.

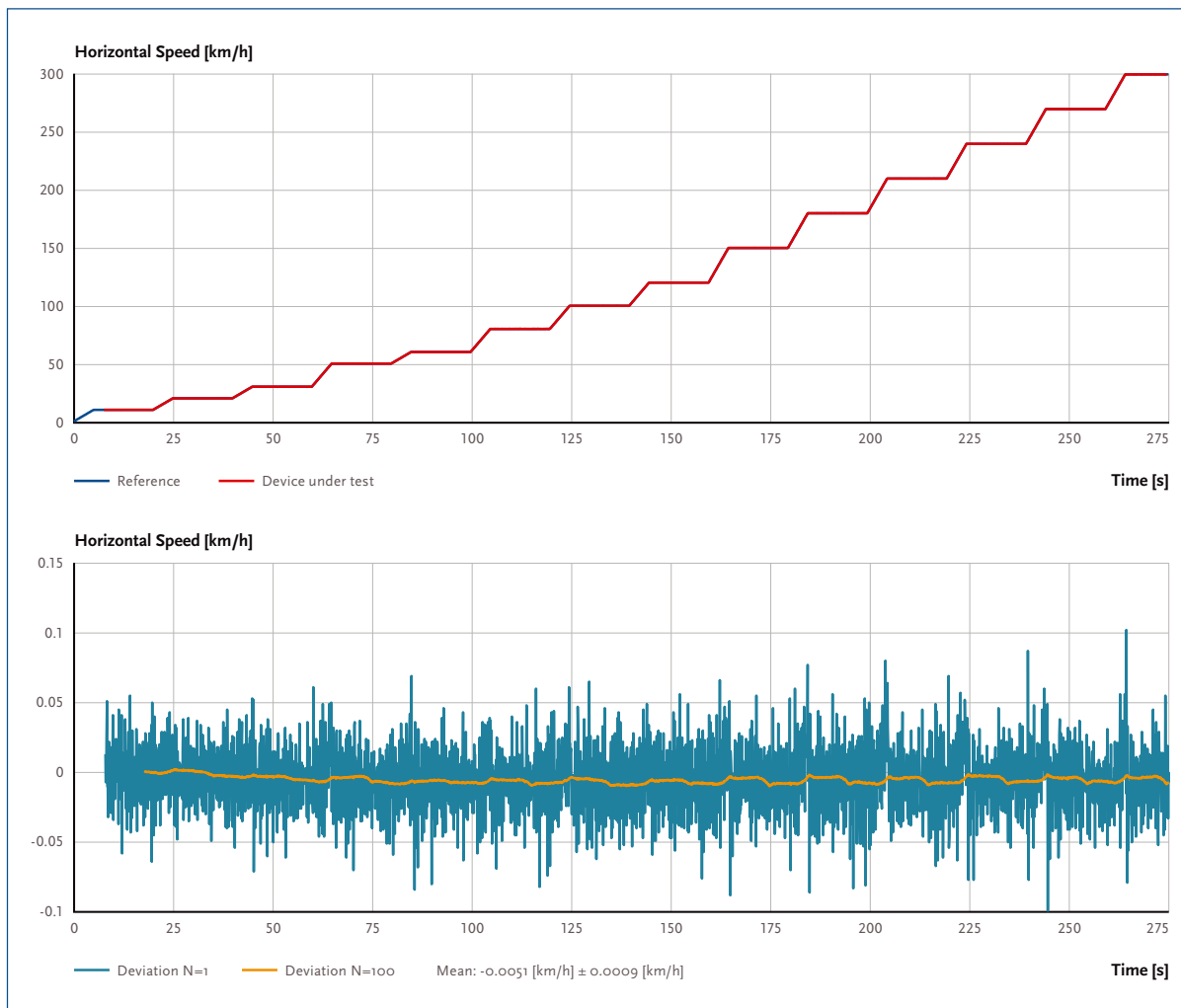
Les mesures les plus demandées sont les étalonnages de distance et de vitesse, mais évidemment limitées à la gamme autorisée dans la circulation routière (max. 120 km/h). De longues distances ne sont pas faciles à réaliser avec cette précision du fait de la dégradation de la réception dans des vallées étroites ou dans les tunnels (dans ce cas, une autre référence non basée sur GNSS peut être alors utilisée). Un exemple de mesure « terrain » se trouve dans le diagramme 3.

**Les possibilités de simulations de METAS**

Le laboratoire *Trafic* possède un simulateur qui permet de générer douze canaux GPS sur le signal L1 avec le code C/A. Grâce à ce système, il est possible de générer n'importe quels parcours avec comme paramètres la distance, des courbes, des accélérations (0 m/s<sup>2</sup> ... 50 m/s<sup>2</sup>), différentes vitesses (0 km/h ... 1500 km/h) ou encore l'angle de cap (0° ... 360°). Un exemple de mesure « simulation » se trouve dans le diagramme 4.

Les types de mesures sont par exemple :

- la vérification des récepteurs GPS pour la mesure de vitesse dans les offices cantonaux des véhicules, par exemple utilisés pour le contrôle des limiteurs de vitesse;
- l'étalonnage d'enregistreurs de données utilisés pour la mesure des contraintes sur des pneumatiques;
- l'étalonnage d'enregistreurs de données utilisé pour l'acquisition lors de courses automobiles ou motos;
- tout autre système basé sur la réception GPS.



4 Résultats de la mesure de vitesse « simulation » : en haut les paliers de vitesses et en bas la déviation de l'instrument par rapport à notre simulateur (en bleu). La courbe orange est un lissage obtenu en moyennant 100 valeurs.

### METAS paré pour l'avenir

Le laboratoire *Trafic* de METAS est déjà prêt avec sa référence de terrain à mesurer les futurs signaux Galileo ainsi que la nouvelle porteuse L5. Au niveau du simulateur, la mise à jour pour permettre de simuler les satellites Galileo est d'ores et déjà planifiée pour permettre la mesure des récepteurs dès la mise en fonction finale du système européen (prévu vers 2014).

Au vu du développement du marché des récepteurs mais également des fournisseurs GNSS, les offres dans ces domaines de mesure vont encore croître. Pour assurer des valeurs fiables et afin d'utiliser ces instruments également dans le domaine légal, l'étalonnage et la vérification à METAS vont s'avérer toujours plus indispensables.

### Références

- [1] [www.esa.int/esaNA](http://www.esa.int/esaNA)
- [2] [www.sinodefence.com/space/spacecraft/beidouz.asp](http://www.sinodefence.com/space/spacecraft/beidouz.asp)
- [3] [www.isro.org](http://www.isro.org)
- [4] [www.gps.gov](http://www.gps.gov)
- [5] [www.glonass-ianc.rsa.ru](http://www.glonass-ianc.rsa.ru)
- [6] [www.swisstopo.ch](http://www.swisstopo.ch)



5 Damien Lachat préparant l'instrument de référence pour une mesure dans le terrain.