

# Annexe

## S

## Mesure de la distance du récepteur par rapport à un satellite

Les satellites envoient des ondes électromagnétiques (micro-ondes) qui se propagent à la vitesse de la lumière. Connaissant celle-ci, on peut alors calculer la distance qui sépare le satellite du récepteur en connaissant le temps que l'onde a mis pour parcourir ce trajet.

Pour mesurer le temps mis par l'onde pour lui parvenir, le récepteur GPS compare l'heure d'émission - incluse dans le signal - à l'heure de réception de l'onde par le récepteur. Cette mesure, après multiplication par la vitesse du signal, fournit une pseudo-distance, assimilable à une distance, mais entachée d'une erreur de synchronisation des horloges du satellite et du récepteur, et de dégradations comme celles dues à la traversée de l'atmosphère. L'erreur d'horloge peut être modélisée sur une période assez courte à partir des mesures sur plusieurs satellites.

## Corrections troposphérique et ionosphérique

En l'absence d'obstacles, il reste cependant des facteurs de perturbation importants nécessitant une correction des résultats de calcul. Le premier est la traversée des couches basses de l'atmosphère, la troposphère. La présence d'humidité et les modifications de pression de la troposphère modifient l'indice de réfraction  $n$  et donc la vitesse et la direction de propagation du signal radio. Si le terme hydrostatique est actuellement bien connu, les perturbations dues à l'humidité nécessitent, pour être corrigées, la mesure du profil exact de vapeur d'eau en fonction de l'altitude, une information difficilement collectable, sauf par des moyens extrêmement onéreux comme les lidars, qui ne donnent que des résultats parcellaires.

Les récepteurs courants intègrent un modèle de correction. Le deuxième facteur de perturbation est l'ionosphère. Cette couche ionisée par le rayonnement solaire modifie la vitesse de propagation du signal. La plupart des récepteurs intègrent un algorithme de correction, mais en période de forte activité solaire, cette correction n'est plus assez précise. Pour corriger plus finement cet effet, certains récepteurs bi-fréquences utilisent le fait que les deux fréquences  $L1$  et  $L2$  du signal GPS ne sont pas affectées de la même façon et recalculent ainsi la perturbation réelle.

## Calcul de la position

Connaissant les positions des satellites à l'heure d'émission des signaux, et les pseudo-distances mesurées (éventuellement corrigées de divers facteurs liés notamment à la propagation des ondes), le calculateur du récepteur est en mesure de résoudre un système d'équations dont les quatre inconnues sont la position du récepteur (trois inconnues) et le décalage de son horloge par rapport au temps GPS. Ce calcul est possible dès que l'on dispose des mesures relatives à quatre satellites ; un calcul en mode dégradé est possible avec trois satellites seulement si l'on connaît l'altitude ; lorsque plus de quatre satellites sont visibles (ce qui est très souvent le cas), le système d'équations à résoudre est surabondant : la précision du calcul est améliorée, et on peut estimer les erreurs sur la position et le temps.

La précision de la position obtenue dépend, toutes choses égales par ailleurs, de la géométrie du système : si les satellites visibles se trouvent tous dans un cône d'observation de faible ouverture angulaire, la précision sera moins bonne que s'ils sont répartis régulièrement dans un large cône. Les effets de la géométrie du système de mesure sur la précision sont décrits par un paramètre : le DOP (pour « Dilution of Precision », en français « atténuation » ou « diminution de la précision ») : le HDOP se réfère à la précision horizontale, le TDOP à la précision sur le temps, le VDOP à la précision sur l'altitude. La précision espérée est d'autant meilleure que le DOP est petit.

## Décalage de l'horloge du récepteur

La difficulté est de synchroniser les horloges des satellites et celle du récepteur. Une erreur d'un millionième de seconde provoque une erreur de 300 mètres sur la position. Le récepteur ne peut bien entendu pas bénéficier d'une horloge atomique comme les satellites ; il doit néanmoins disposer d'une horloge assez stable, mais dont l'heure n'est a priori pas synchronisée avec celle des satellites. Les signaux de quatre satellites au moins sont nécessaires pour déterminer ce décalage, puisqu'il faut résoudre un système d'au moins quatre équations mathématiques à quatre inconnues qui sont la position dans les trois dimensions plus le décalage de l'horloge du récepteur avec l'heure GPS

## Galiléo

Galileo est un système de positionnement par satellites (radionavigation) développé par l'Union européenne et incluant un segment spatial dont le déploiement doit s'achever vers 2020. Comme les systèmes américains GPS (Global Positioning System), russe GLONASS et chinois Beidou, il permet à un utilisateur muni d'un terminal de réception d'obtenir sa position. La précision attendue pour le service de base, gratuit, est de 4 mètres horizontalement et de 8 mètres en altitude. Un niveau de qualité supérieur sera fourni dans le cadre de services payants proposés aux professionnels.

Le segment spatial de Galileo sera constitué à terme de 30 satellites dont 6 de rechange. Chaque satellite, d'une masse d'environ 700 kg, circule sur une orbite moyenne (23 222 kilomètres) dans trois plans orbitaux distincts ayant une inclinaison de  $56^\circ$ . Ces satellites émettent un signal qui leur est propre et retransmettent un signal de navigation fourni par le segment de contrôle de Galileo. Ce dernier est constitué par deux stations chargées également de surveiller l'orbite et l'état des satellites.

Le système de géolocalisation européen est opérationnel depuis fin 2016. Malgré une meilleure précision que le GPS, peu de monde l'utilise. Quatre nouveaux satellites ont été lancés récemment.

Le grand public ne l'utilise pas. En partie parce qu'au moment de son lancement officiel, deux smartphones seulement étaient compatibles.

A contrario, le concurrent américain, le GPS, est automatiquement mis en avant sur les smartphones. En réalité, les possesseurs de smartphones compatibles utilisent déjà Galileo... sans le savoir. S'il n'y a pas d'application « Galileo » à télécharger, le GPS utilise peut-être la géolocalisation « made in Europe » en complément du signal fourni par ses propres satellites.

Quel smartphone utilise Galileo en 2017 ?

Seuls les téléphones récents peuvent accéder au système européen, car ce dernier demande que le processeur soit compatible. De plus en plus de smartphones le sont :

Apple : iPhone 8 Plus, iPhone 8, iPhone 10/X

BQ : Aquaris V Plus, Aquaris V, Aquaris X5 Plus, Aquaris X, Aquaris X Pro

Google : Pixel 2, Google Pixel 2 XL

Huawei : P10 plus, Mate 9 pro, P10, Mate 10 Pro, Mate 9

LG : V30

Mediatek : Meizu Pro 7 Plus, Meizu Pro 7

Motorola : Moto X4

Nokia : Nokia 8

Oneplus : Oneplus5

Samsung : S8, S8 +, Note 8

Sony : Xperia XZ Premium

Vernee : Apollo 2



Quel avantage à utiliser Galileo plutôt que le GPS ?

L'avantage premier est lié à la précision du système de géolocalisation européen, même si pour le moment, cette qualité n'est pas encore à son maximum. En effet, Galileo utilise une partie des satellites dédiés au GPS. En 2020, il sera totalement autonome. C'est alors que l'un des principaux avantages du GPS européen apparaîtra : les Européens arrêteront d'être dépendants des militaires américains qui gèrent cette technologie, à l'instar du système Glonass en Russie contrôlé par les généraux du Kremlin.