

**Les GNSS font partie des techniques de pointe au service de la Géomatique. Cependant, les professionnels oublient parfois que la précision des GNSS est affectée par de nombreuses erreurs. A l'Université de Liège, des chercheurs ont étudié l'origine de certaines de ces erreurs et se sont penchés tout particulièrement sur l'effet de la géométrie de la constellation. Certaines formes de la géométrie de la constellation peuvent anéantir totalement la précision du positionnement par satellites.**

## **AMÉLIORATION DE LA PRÉCISION DES GNSS : L'UNIVERSITÉ DE LIÈGE EN BONNE POSITION**

par **Matthieu Lonchay**

À l'heure actuelle, le monde de la Géomatique est confronté de plus en plus à une nouvelle technologie en plein essor : les GNSS. L'acronyme GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) désigne l'ensemble des systèmes globaux de positionnement et de navigation par satellites. Dans le but de souligner le lien entre GNSS et Géomatique, il est intéressant de repartir de la définition de notre activité : « La Géomatique est la discipline qui a pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion [...] » (Source : Site ScG Laval). Les GNSS se présentent donc comme une technique d'acquisition de données spatiales, au même titre que la photogrammétrie, la topographie ou encore la télédétection.

Le plus célèbre des GNSS est sans aucun doute le GPS (*Global Positioning System*) américain. Le GPS constitue actuellement le seul GNSS totalement opérationnel mais d'autres nations sont à pied d'œuvre pour développer leur propre système de positionnement par satellites. Ainsi, la Russie est en train de relancer son programme GLONASS, tandis que Galileo, le futur GNSS européen, devrait voir le jour à l'horizon 2014.

Le développement de ces nouvelles technologies ouvre de nouveaux horizons pour les professionnels du domaine mais également pour les scientifiques. C'est ainsi qu'à l'Université de Liège (ULg), une équipe de chercheurs, dirigée par le Professeur René Warnant, s'intéresse de près à la précision du positionnement par satellites. Ces travaux sont menés en collaboration avec la section « Profils ionosphériques » de l'Institut Royal Météorologique (IRM).

### **Fonctionnement d'un GNSS**

Le positionnement par satellites repose sur le principe de la multilatération. Afin de déterminer sa position à la surface de la Terre, un récepteur GNSS exploite les valeurs des distances qui le séparent des différents satellites observés. La position et le mouvement de ces satellites sont des paramètres

connus transmis aux utilisateurs par le biais du « message de navigation ». Ces distances sont déduites de la mesure, réalisée par le récepteur, du temps de parcours des signaux électromagnétiques émis par les satellites GNSS. Pour réaliser ces mesures de temps, les récepteurs sont équipés d'horloges très précises.

La vitesse de propagation des signaux électromagnétiques émis par les satellites est proche de la vitesse de la lumière, soit près de 300 000 km/s. Les satellites GNSS évoluant à une altitude d'environ 20 000 km, le temps de parcours de leurs signaux est donc de l'ordre de 6 centièmes de seconde. Ce dernier ordre de grandeur permet de réaliser toute l'importance de la qualité et de la stabilité des horloges internes des récepteurs.

Etant donné la difficulté de s'assurer de la stabilité de l'horloge d'un récepteur GNSS, on considère généralement « l'erreur d'horloge du récepteur » comme une inconnue supplémentaire à déterminer. Ainsi, aux trois inconnues de position (coordonnées tridimensionnelles) s'ajoute une quatrième inconnue liée à l'erreur d'horloge du récepteur (figure 1).

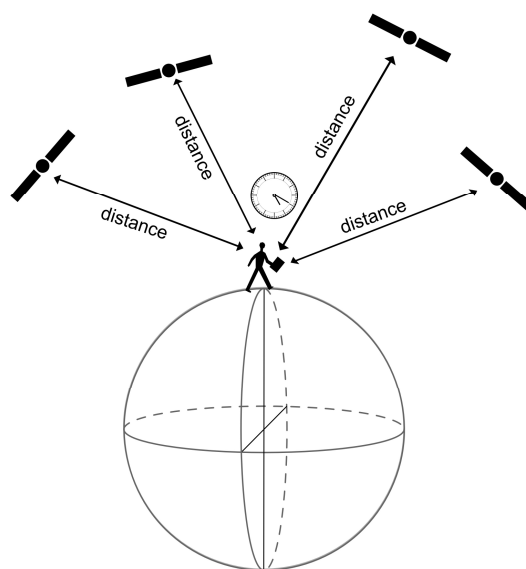


Figure 1 : Principes du positionnement par satellites

Dans le cas classique du positionnement absolu (un seul récepteur) sur une seule époque d'observation (temps réel), la détermination de ces

quatre inconnues nécessite l'observation simultanée d'un **minimum** de quatre satellites. Cependant, en fonction de la constellation GNSS et de la configuration du site d'observation, il est fréquent de pouvoir observer plus de quatre satellites simultanément. Le nombre d'observations étant supérieur au nombre d'inconnues, des techniques relevant de la théorie des moindres carrés sont utilisées pour effectuer le calcul de position.

Malgré l'évolution de cette technologie, le positionnement par satellites souffre de toute une série d'erreurs susceptibles de dégrader sa précision. D'une part, on peut distinguer les erreurs affectant les distances satellites-récepteur: il s'agit principalement des erreurs atmosphériques (la vitesse du signal est influencée par le milieu de propagation) mais aussi d'autres types d'erreurs comme le multi-trajet, le bruit de mesure, etc. D'autre part, parallèlement aux erreurs précitées, la géométrie de la constellation peut également être à l'origine de la dégradation de la précision du positionnement par satellites.

### La géométrie de la constellation<sup>1</sup>

Quelles que soient les erreurs affectant les distances satellites-récepteur, la distribution des satellites dans le ciel de l'observateur, soit la géométrie de la constellation, peut dégrader fortement la précision du positionnement par satellites. Plus concrètement, la géométrie de la constellation agit comme un facteur « diluant » la précision entre les observations (les distances entre les satellites et le récepteur) et les inconnues (les inconnues de position et l'erreur d'horloge du récepteur).

La figure 2 permet d'appréhender de manière simple la notion de « dilution de la précision » au moyen d'un exemple de positionnement en deux dimensions. Sur cette figure, les deux points rouges correspondent à deux points de référence connus en coordonnées. Afin de déterminer sa position, un utilisateur a mesuré les distances qui le séparent de ces deux points. La position de l'utilisateur correspond donc à l'intersection de deux cercles centrés sur les deux points de référence. Toutefois, les mesures effectuées par l'utilisateur peuvent être entachées d'erreurs. Les valeurs des rayons des deux cercles seront donc erronées et il en résulte alors une incertitude sur la position de l'utilisateur (zone jaune). La comparaison des figures 2a et 2b permet de mettre en évidence le fait que l'incertitude sur la position de l'utilisateur est influencée par la position relative des points de référence. On observe donc

une dilution de la précision, engendrée par la géométrie du système.

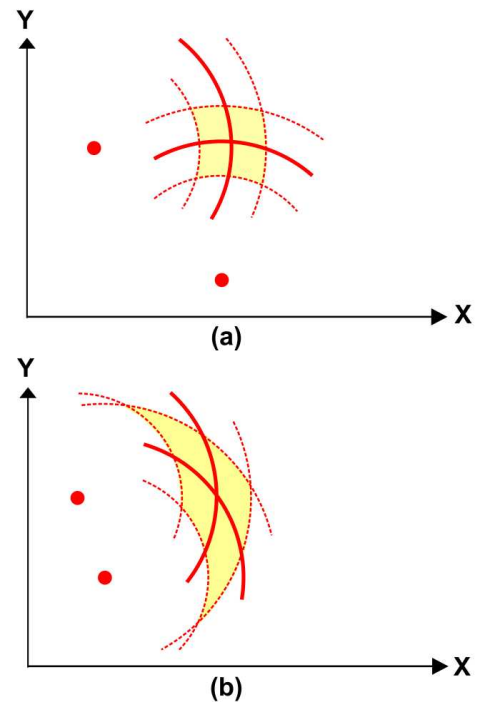


Figure 2 : La dilution de la précision

A partir de ce petit exemple, on peut donc comprendre comment la géométrie de la constellation peut influencer la précision du positionnement par satellites, indépendamment de l'effet des erreurs qui affectent les mesures des distances entre les satellites et le récepteur. L'incertitude, précédemment représentée par une surface, correspond alors à un volume dont la forme et les dimensions varient en fonction de la position relative des satellites dans le ciel de l'observateur.

La qualité de la géométrie de la constellation peut être évaluée au moyen d'un indicateur : le DOP (*Dilution of Precision*). Cet indicateur quantifie la dégradation de la précision du positionnement par satellite engendrée par la géométrie de la constellation. Plus la valeur du DOP est faible, plus la géométrie de la constellation est favorable à un positionnement de précision.

Le graphique de la figure 3 permet de fixer un ordre de grandeur du DOP. La courbe rouge et la courbe noire représentent respectivement la variation journalière du DOP et du nombre de satellites GPS visibles à la station TILM (Sart-Tilman) du réseau WALCORS à la date du 10 avril 2010. On peut voir sur ce graphique que le DOP conserve la plupart du temps une valeur inférieure à 3 unités, seuil sous lequel la géométrie est considérée comme excellente. Cette faible valeur de DOP témoigne d'une très bonne couverture de la constellation GPS. Très ponctuellement toutefois, on observe des valeurs de DOP dépassant 5 à 6 unités, seuil au-delà

<sup>1</sup> Mémoire de Master en Géomatique-Géométrie

duquel la géométrie est considérée comme médiocre. Durant ces instants critiques, la géométrie est particulièrement défavorable à un positionnement de précision. Ces hautes valeurs de DOP ne peuvent être expliquées que partiellement par le nombre de satellites visibles. Ainsi, pour un même nombre de satellites observés, la valeur du DOP peut varier fortement. Par exemple, on peut voir que le DOP dépasse 6 unités vers 5h00 tandis qu'il est inférieur à 3 unités vers 14h00, alors que le nombre de satellites est identique (6 satellites) à ces deux instants de la journée. Cela signifie que la qualité de la géométrie de la constellation dépend du nombre de satellites visibles mais aussi et surtout de la forme adoptée par la géométrie de la constellation.

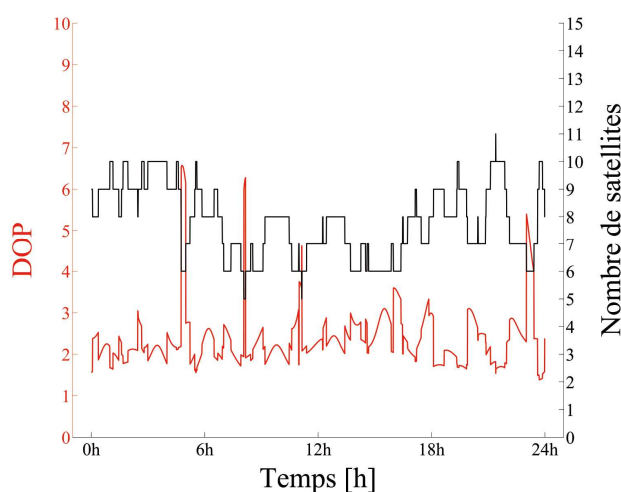


Figure 3 : DOP et nombre de satellites GPS visibles à la station TILM (WALCORS) au Sart-Tilman le 10 avril 2010 (masque d'élévation de 15°).

Au cours de nos travaux, nous avons expliqué l'origine de hautes valeurs du DOP en identifiant une forme de la géométrie de la constellation particulièrement critique conduisant le DOP vers des valeurs extrêmes : la géométrie de forme conique. Cette forme de la géométrie correspond à la situation où tous les satellites observés se distribuent sur un cône dont l'apex correspond à la position de l'utilisateur (figure 4). Plus la forme de la géométrie de la constellation adopte un aspect conique, plus la valeur du DOP sera élevée et plus cette configuration sera défavorable à un positionnement de précision.

Note : l'alignement parfait des satellites dans le ciel de l'observateur correspond à un cas dégénéré du cône (cône fortement incliné).

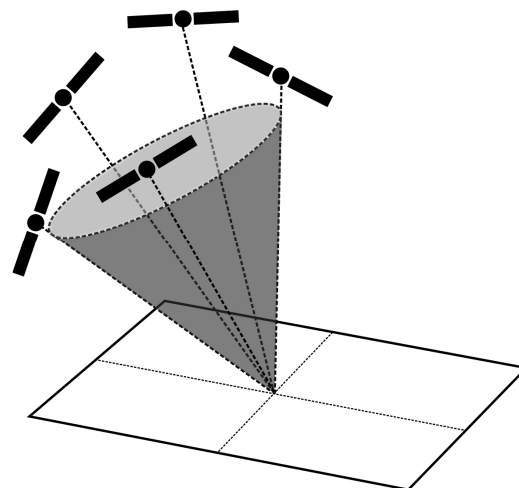


Figure 4 : Forme conique de la géométrie de la constellation

Les résultats de nos recherches concernant la géométrie de la constellation constituent une excellente occasion d'inviter les professionnels de la Géomatique à une certaine vigilance vis-à-vis du positionnement par satellites. **D'une part, un nombre élevé de satellites n'est pas une condition suffisante pour l'obtention d'une géométrie de qualité, bien qu'il réduise la probabilité d'occurrence d'une géométrie de forme critique (cône).** D'autre part, rappelons que la géométrie de la constellation agit comme un facteur amplificateur de l'effet des erreurs affectant les distances entre les satellites et le récepteur. Cela signifie qu'une faible valeur de DOP ne constitue pas une garantie pour la réalisation d'un positionnement de haute précision mais indique simplement que la qualité de la géométrie  $\gamma$  est favorable. **Une géométrie d'excellente qualité ne compensera pas des erreurs trop conséquentes sur les observations.**

Par ailleurs, dans le cadre d'applications nécessitant une haute précision, les professionnels emploient des techniques de positionnement relatif (observations simultanées de plusieurs satellites depuis plusieurs récepteurs). Dès lors, attirons l'attention sur le fait que la constellation à considérer doit être réduite aux seuls satellites observables simultanément depuis tous les récepteurs (figure 5). Généralement, chaque récepteur individuellement fournit une valeur de DOP sur base des satellites visibles depuis sa position, sans tenir compte du champ de visibilité des autres récepteurs. Nous avons également montré que, dans le cas du positionnement relatif, cette valeur de DOP ne conservait sa validité que pour des courtes lignes de base (quelques kilomètres) et des sites d'observation dépourvus d'effets de masquage.

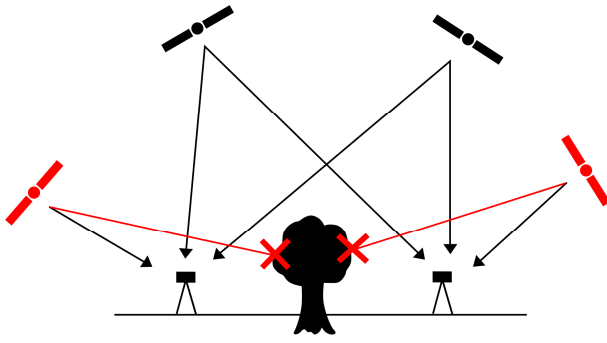


Figure 5: Visibilité des satellites dans le cas du positionnement relatif

### L'ionosphère : mesure du TEC par GNSS<sup>2</sup>

La géométrie de la constellation joue donc un rôle amplificateur vis-à-vis de différentes erreurs dont la plus limitante pour le positionnement par satellites est induite par l'ionosphère. L'ionosphère est la couche de l'atmosphère terrestre dont la concentration en électrons libres est suffisante pour perturber la propagation des ondes radios. L'effet de l'ionosphère sur les signaux GNSS est variable dans le temps et dans l'espace et peut se révéler catastrophique. **En effet, dans des cas extrêmes, l'ionosphère peut engendrer des erreurs de position de plus de 100 m.** Il est donc capital de corriger les mesures GNSS des effets ionosphériques.

Le développement et la modernisation des GNSS actuels ouvrent de nouvelles portes pour les scientifiques. L'utilisation combinée des multiples signaux des différents GNSS (interopérabilité) va améliorer considérablement les techniques de mesure de l'activité ionosphérique. Outre la navigation et le positionnement, les signaux GNSS sont exploités pour mesurer le contenu total en électrons (TEC, *Total Electron Content*). Il s'agit de la quantité d'électrons libres présents sur le trajet satellite-récepteur. La connaissance de la valeur du TEC est essentielle pour corriger l'erreur ionosphérique affectant les mesures GNSS. Par la suite, les multiples GNSS vont également nous permettre de cartographier le TEC avec une plus grande résolution. Ces cartes pourront être exploitées d'une part dans le cadre d'applications professionnelles (topographie, géodésie, etc.) mais également dans le cadre de recherches scientifiques axées sur l'ionosphère. Ce nouveau défi fait l'objet d'une thèse de doctorat actuellement en cours à l'Unité de Géomatique de l'Université de Liège.

### Pour aller plus loin :

Site de l'Unité de Géomatique de l'Université de Liège :  
[www.geo.ulg.ac.be](http://www.geo.ulg.ac.be)

Section « Profils ionosphériques » de l'Institut Royal Météorologique :  
<http://www.meteo.be/meteo/view/fr/135642-Profils+Ionospheriques.html>

Article de R. Langley dans GPS WORLD :  
[http://www.sbg.ac.at/mat/staff/revers/lectures/2006\\_2007/GPS/gpsworld.may99.pdf](http://www.sbg.ac.at/mat/staff/revers/lectures/2006_2007/GPS/gpsworld.may99.pdf)

### Contact

**Matthieu LONCHAY**  
[M.Lonchay@ulg.ac.be](mailto:M.Lonchay@ulg.ac.be)

<sup>2</sup> Projet de thèse de doctorat