

# Le futur de la navigation par satellites : une précision à un centimètre avec le PPP



■ **Olivier CHASSAGNE** – version française de Bernard FLACELIÈRE, avec relecture de l’auteur.

Le “positionnement précis du point” (PPP : *Precise Point Positioning*) est une méthode améliorant la précision d’un récepteur GPS si ce dernier reçoit en continu des orbites précises et des corrections d’horloge des satellites GPS. Le “positionnement précis du point” est actuellement disponible “en ligne”, grâce notamment à des sites web qui fournissent de telles données de correction en temps quasi réel, mais pas si le récepteur est “déconnecté”. Alors pourquoi les systèmes de navigation par satellites ne fournissent-ils pas eux-mêmes ces données de correction sur leurs propres signaux dans l’espace ? L’auteur fait valoir que cela est techniquement faisable et que ne pas le faire est l’équivalent d’une *Selected Unavailability*, c’est-à-dire d’une indisponibilité choisie.

## MOTS-CLÉS

Positionnement, précis, navigation, PPP, GNSS, correction, orbite, horloge

Cette évolution devrait être aussi significative en termes d’amélioration de la précision et aussi importante pour la société dans son ensemble que l’arrêt de la “disponibilité sélective” (*Selective Availability*) pour le GPS en 2000. Comme la plupart des lecteurs s’en souviendront, la “disponibilité sélective” a été une fonction dans le GPS qui délibérément introduisait des erreurs d’horloge aléatoires sur les signaux disponibles utilisés par les utilisateurs civils pour dégrader ces signaux des satellites, tandis que les récepteurs spéciaux militaires étaient en mesure d’utiliser les signaux du code P/Y, plus précis et cryptés.

Dans cet article, sont abordées les potentialités des techniques de positionnement de point précis (PPP : *Precise Point Positioning*) en matière de navigation par satellites, la nécessité et la possibilité pour les opérateurs de GNSS de mettre en œuvre une capacité de PPP à l’échelle mondiale.

## Une insatiable quête pour plus de précision

En introduction, nous avons besoin d’attirer l’attention des utilisateurs civils sur le fait que le service ouvert du GPS (appelé *Standard Positioning Service* ou SPS) ne fut pas mis en œuvre en tant que service séparé pour les civils, mais plutôt comme une partie intégrante du service destiné aux militaires (appelé le *Precise Positioning Service*, PPS). Jusqu’à récemment, tous les récepteurs

Le message de navigation a toujours été considéré comme une caractéristique inhérente et essentielle d’un système mondial de navigation par satellites. Son objectif principal est de fournir aux récepteurs des informations sur les erreurs d’horloge des satellites, les paramètres pour calculer les positions des satellites, ainsi que d’autres paramètres qui contribuent à générer des mesures plus précises.

Cependant, l’architecture du système de positionnement global, qui a été copiée – mais pas encore égalée – par les autres systèmes mondiaux de navigation par satellites (GNSS : *Global Navigation Satellite System*), a été conçue à une époque où les distances étaient calculées sur la base de mesures de code et où les satellites n’étaient pas souvent connectés avec leur segment (secteur) sol ou stations de contrôle.

Les technologies ont évolué depuis la création du GPS (*Global Positioning System*), et l’architecture des systèmes mondiaux de navigation par satellites devrait aussi évoluer afin de prendre en compte la réalité d’aujourd’hui : la plupart des récepteurs sont actuellement capables de faire non seulement des mesures de code, mais aussi des mesures de phase. Ces dernières sont beaucoup plus précises, mais utilisent aussi beaucoup plus de puissance de calcul.

L’évolution attendue des GNSS permettra aux récepteurs d’atteindre une précision de l’ordre de quelques centimètres, en temps réel, à tout moment et n’importe où. La technologie derrière cette évolution est déjà disponible. Elle permettra d’améliorer la navigation traditionnelle par satellites par deux ordres de grandeur (ce qui signifie que la précision sera environ 100 fois meilleure).



militaires utilisaient le SPS code C/A pour synchroniser leur horloge et donc pour les aider à acquérir et à suivre les signaux cryptés militaires (P/Y code).

Ainsi, l'intérêt initial du ministère de la défense des États-Unis (DoD : *Department of Defense*) à l'égard du SPS n'était pas vraiment de fournir un service public gratuit à l'humanité. Cependant, les contraintes de la cryptologie et de l'état de l'ingénierie électronique, à l'époque où le GPS fut conçu, ne lui ont pas laissé d'autres choix que de fournir un service ouvert. Depuis lors, bien sûr, des méthodes ont été développées pour permettre aux utilisateurs militaires d'avoir un accès direct au P/Y code sans que le SPS soit nécessaire.

Cependant, lorsque le *Global Positioning System* a commencé à fonctionner, la précision du SPS s'est avérée être meilleure que prévu et ceci a été initialement considéré comme une menace pour la sûreté nationale des États-Unis. Par conséquent, le DoD a dégradé sa précision à travers la *Selective Availability*, mentionnée ci-dessus, jusqu'à ce qu'il réalise, à la lumière de l'expérience de la première guerre du Golfe et de la guerre en Bosnie, que les inconvénients de la dégradation du service ouvert pesaient plus lourd que les avantages tactiques qui en étaient attendus. En outre, de nombreux experts civils en navigation avaient trouvé des moyens de contourner cette dégradation volontaire.

L'arrêt de la *Selective Availability* en mai 2000 a coïncidé avec le décollage de l'utilisation de ce service ouvert par les produits grand public, avant tout pour la navigation de véhicules terrestres. Cette décision a certainement joué un rôle dans l'utilisation généralisée de la navigation par satellites, car si la précision du service ouvert du GPS d'avant 2000 étaient assez bonne pour le positionnement en route des navires et des avions, il était insuffisant pour la navigation routière.

Depuis 2000, le ministère de la défense (DoD) a progressivement amélioré la précision de son système, à la fois pour les services ouverts et militaires. Une meilleure précision du SPS ne semble plus désormais être perçue comme une menace pour la sûreté. Dans tous les cas, le minis-

tère de la défense a toujours la possibilité de recourir au brouillage local en temps de guerre ou de crise afin de protéger ses actifs et ceux de ses alliés, contre les armes et les munitions guidées par la radionavigation par satellites.

Par conséquent, quelles que furent les intentions initiales de l'opérateur du GPS, son service ouvert est devenu le premier véritable service public mondial. Aujourd'hui, ce système est peut-être devenu le premier système militaire opérationnel dont les avantages pour la société civile l'emportent sur les avantages militaires.

## La dépendance historique à des aides extérieures

Même si le DoD a poussé la précision de son service ouvert à sa limite dans la conception actuelle du système (maintenant de trois à quatre mètres pour un récepteur autonome), cette précision n'est pas néanmoins considérée comme tout à fait satisfaisante par de nombreux utilisateurs.

La précision du GNSS souffre de différents types d'erreurs liées soit au système de satellites, soit à la nature physique de la Terre (par exemple la réfraction et l'atténuation des signaux qui se propagent à travers la troposphère et l'ionosphère). La somme de ces erreurs peut facilement être mesurée en tout point de la Terre, si les coordonnées réelles d'un récepteur sont connues avec précision, et sont susceptibles de rester valables dans le voisinage d'un point donné sur une petite période de temps.

Des corrections fournies par les stations de référence ont grandement amélioré la précision du positionnement depuis l'avènement du *Global Positioning System*. Cette méthode de correction est connue plus largement sous le terme de "GPS différentiel", mais nous allons nous référer ci-après au terme "amélioration différentielle" (*differential augmentation*).

La plupart des initiatives publiques ont vu le jour afin d'offrir de l'amélioration différentielle en temps réel, qui s'est avérée être un complément utile du SPS. Certains organismes de cartographie ont

développé des services d'amélioration différentielle à l'échelle nationale, principalement par le biais d'un réseau de stations terrestres de référence qui diffusent des corrections. Les autorités de l'aviation civile ont mis au point à une échelle continentale des systèmes d'amélioration différentielle basés sur les mesures fournies par un réseau de stations de référence et sur des données de correction transmises par des satellites géostationnaires :

- le *Wide Area Augmentation System*, développé par la *Federal Aviation Authority* des États-Unis et opérationnel depuis 2005 ;
- l'*European Geostationary Navigation Overlay Service* (EGNOS), développé par l'Union Européenne et opérationnel depuis mars 2011 pour l'aviation civile ;
- le *Multi-Functional Satellite Augmentation System* (MSAS), mis en place par le Japon et opérationnel depuis septembre 2007.

Divers systèmes commerciaux d'amélioration différentielle peuvent atteindre des niveaux de précision d'un mètre jusqu'à 10 centimètres, voire mieux. Mais ces niveaux de précision sont néanmoins considérés comme insuffisants pour un certain nombre d'applications civiles, notamment pour la topographie, les données d'observation de la terre, le guidage précis de véhicules et pour des applications telles que l'exploration et production pétrolières en mer, la conduite de véhicules miniers, et l'agriculture automatisée. Afin de parvenir à une précision meilleure que 10 centimètres, la navigation par satellites doit recourir aux subtilités de la physique applicables aux ondes radio et des caractéristiques des signaux dans l'espace. La précision de positionnement est directement proportionnelle à la précision de la distance satellite-récepteur et est également très dépendante de la précision du calcul de la position des satellites et de leurs erreurs d'horloge.

Les premiers récepteurs GPS grand public étaient pour la plupart capables de mesurer seulement les codes des signaux et lire les messages de navigation associés. Aujourd'hui, les récepteurs peuvent généralement aussi traiter des mesures sur la phase porteuse (ou mesures de phase).



Afin de calculer les inconnues ou les ambiguïtés entières liées aux mesures de phase, deux approches principales ont été employées au cours des 15 dernières années :

- en utilisant l'augmentation différentielle à travers une station de référence, une technique connue sous le nom cinématique en temps réel (RTK : *RealTime Kinematic*) ;
- en obtenant des informations sur la position des satellites et sur leur erreur d'horloge, plus récentes et meilleures, c'est le positionnement précis du point (PPP : *Precise Point Positioning*).

Les deux approches ont chacune leurs avantages et leurs inconvénients, qui ont été largement décrits dans la littérature professionnelle, et nous allons brièvement les résumer ici (voir également la bibliographie).

- Le RTK délivre une solution instantanée de haute précision, dans les modes statique et dynamique, mais seulement dans le voisinage d'une station de référence, dont la position est connue avec précision. Cette technique implique un canal de communication depuis la station de référence vers le récepteur et a conduit à un certain nombre de services commerciaux offerts par des entreprises privées telles que NavCom Technology, OmniSTAR et Veripos.
- Le PPP a été initialement utilisé dans le mode de post-traitement, c'est-à-dire a posteriori, par un serveur qui reçoit les observations faites par le récepteur mobile pendant un relevé particulier, et qui a des informations privilégiées sur la position exacte et les erreurs d'horloge des satellites. Certains organismes publics ont récemment mis à disposition de telles informations en quasi-temps réel sur des sites internet de telle sorte que le calcul de post-traitement peut également être fait en temps réel. L'obstacle à la réussite de ces sites web reste la disponibilité de telles informations pour la grande majorité des récepteurs, qui n'ont pas accès à l'internet. L'amélioration en temps réel, par opposition à l'amélioration en mode post-traitement, s'est avérée réalisable grâce à la diffusion par des satellites géostationnaires de l'orbite exacte (éphémérides) et de l'erreur de l'horloge des satellites de navigation.

Contrairement au RTK, le PPP est opérationnel dans le monde entier et ne nécessite pas de station de référence. Un de ses inconvénients, cependant, est que l'amélioration en temps réel nécessite un délai d'initialisation (aussi appelé le délai de convergence) d'environ 30 minutes pour les récepteurs.

Les deux techniques peuvent être résumées de la manière très simpliste suivante (où "endroit précis" est la localisation exacte déduite à partir des mesures de code et de phase, qui est beaucoup plus précise que l'emplacement déduit de mesures de code seulement) :

- RTK : *"Dites-moi les coordonnées précises de votre station de référence et je vais vous dire l'endroit précis de votre récepteur mobile."*
- PPP : *"Dites-moi l'emplacement précis des satellites de navigation et je vais vous dire l'endroit précis de votre récepteur mobile."*

Le principal inconvénient du positionnement précis du point, à savoir le délai de convergence pour les récepteurs, peut être atténué par les actions suivantes :

- l'accroissement naturel de la puissance de calcul des puces électroniques (suivant la loi de Moore) aidera à diminuer à l'avenir le délai de convergence ;
- l'utilisation de plusieurs constellations pour le PPP a prouvé la diminution du délai de convergence ([3] C. et Y. Cai Gao) ;
- l'utilisation de plus de deux fréquences pourrait également aider à diminuer le délai de convergence.

Les deux techniques précitées ont été développées avec différentes variantes au fil du temps. Par exemple, le RTK utilise un réseau de plusieurs stations de référence au lieu d'une seule. Le PPP a été employé sur la base d'une, deux ou trois fréquences de navigation et/ou d'une ou plusieurs constellations, y compris d'une modélisation des biais des satellites ([10] D. Laurichesse et al.).

Toutefois, les deux techniques ont quelque chose en commun : elles ont toutes deux recours à l'incapacité des messages de navigation des GNSS actuels à permettre aux récepteurs de tirer avantage des mesures de phase.

L'architecture des messages de navigation est conçue pour donner des paramètres valides pour les orbites et les corrections d'horloge sur de longues périodes (généralement d'une à trois heures). Ce qui est approprié et suffisamment précis pour obtenir un positionnement au moyen de mesures de code seulement, mais pas assez pour tirer avantage des mesures de phase.

Les deux techniques semblent offrir une précision équivalente. En outre, elles ne sont pas mutuellement exclusives et peuvent être combinées. Cependant, seul le PPP peut offrir une solution à l'échelle mondiale et une amélioration autonome (c'est-à-dire sans l'appui d'une station de référence). C'est pourquoi cette technique est appelée à devenir la prochaine étape de la navigation par satellites.

## Options pour les canaux de diffusion des données de correction PPP

La question qui doit venir à l'esprit de tous les utilisateurs est la suivante : *"pourquoi les signaux de navigation ne me donnent pas l'information nécessaire très précise sur la position des satellites et des erreurs d'horloge pour que je puisse effectuer un positionnement précis à l'aide des mesures de phase ?"*

La raison de la situation actuelle est double. Tout d'abord, les infrastructures au sol des GNSS n'ont pas été conçues pour supporter un flux continu de données de correction vers les satellites, au lieu de cela les corrections sont téléchargées par intermittence. Ensuite, les opérateurs de ces systèmes ne produisent pas, en tous les cas directement en temps réel, les éphémérides et des corrections d'horloge des satellites. Ce n'est pas parce que les opérateurs ne sont pas techniquement en mesure d'effectuer de tels calculs, mais plutôt parce que la nécessité ne s'est pas encore présentée ou parce que les opérateurs de GNSS n'ont pas été mandatés pour le faire.

Heureusement, d'autres organisations, telles que l'International GNSS Service (IGS), avec un grand nombre de stations de poursuite de satellites produisent ces informations. L'agence spatiale



française, le CNES, a développé un projet, le démonstrateur PPP-WIZARD, comme une démonstration de faisabilité de la méthode de résolution d'ambiguïtés entières (avec zéro différence), utilisée par le service de détermination d'orbites de cette agence. La *figure 1* montre un exemple de résultats de PPP par rapport à une position de référence absolue en utilisant le logiciel du CNES, en temps réel, et intégrant un ensemble complet de données de correction de satellites GPS et GLONASS. Dans le cas d'espèce, les données proviennent de Francfort, en Allemagne, une station de référence du réseau permanent EUREF, qui fournit également des données à l'IGS.

La particularité de la situation actuelle est que les données de correction permettant le PPP sont disponibles gratuitement sur l'internet, mais disponibles directement de l'espace que pour un nombre limité d'utilisateurs haut de gamme capables de payer des redevances pour un service dans le monde entier, service qui exige des charges utiles sur environ 10 satellites géostationnaires.

Le point de vue de l'auteur est que les données de correction permettant le PPP devraient devenir une partie intégrante des messages de données de tous les signaux GNSS, idéalement gratuitement, puisque ces données de correction sont devenues de facto des données publiques. Cette position est basée sur le raisonnement suivant.

### Y a-t-il de meilleures façons d'envoyer des données de correction à des récepteurs ?

La radiodiffusion terrestre n'est évidemment pas la meilleure solution car elle serait tributaire des initiatives prises aux niveaux nationaux ou locaux, ce qui entraînerait des normes différentes et/ou des transmissions sur des fréquences radio différentes. En outre, cette approche impliquerait des coûts de connexion supplémentaires et, éventuellement, des "frais d'itinérance" chaque fois qu'un utilisateur navigue à l'extérieur des frontières nationales de son fournisseur de télécommunications.

L'internet par diffusion hertzienne terrestre pose le même problème de rede-

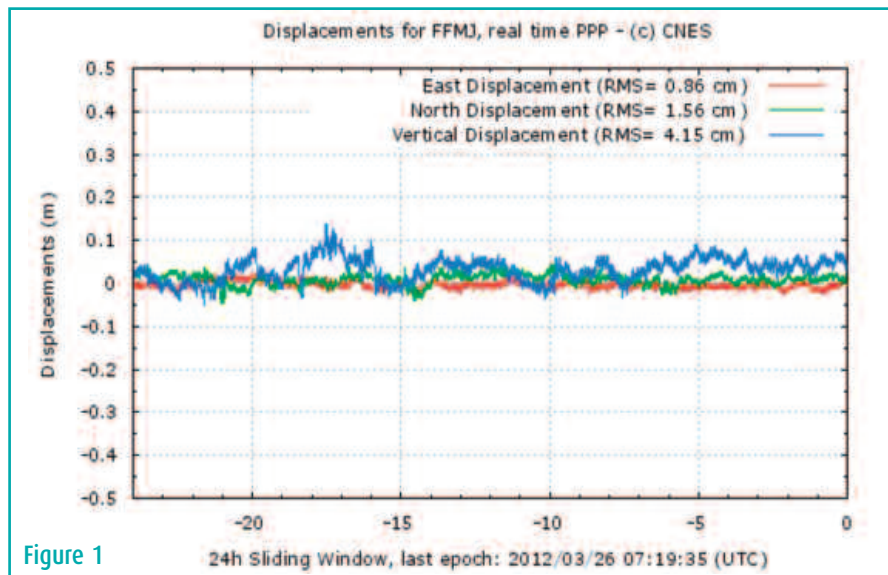


Figure 1

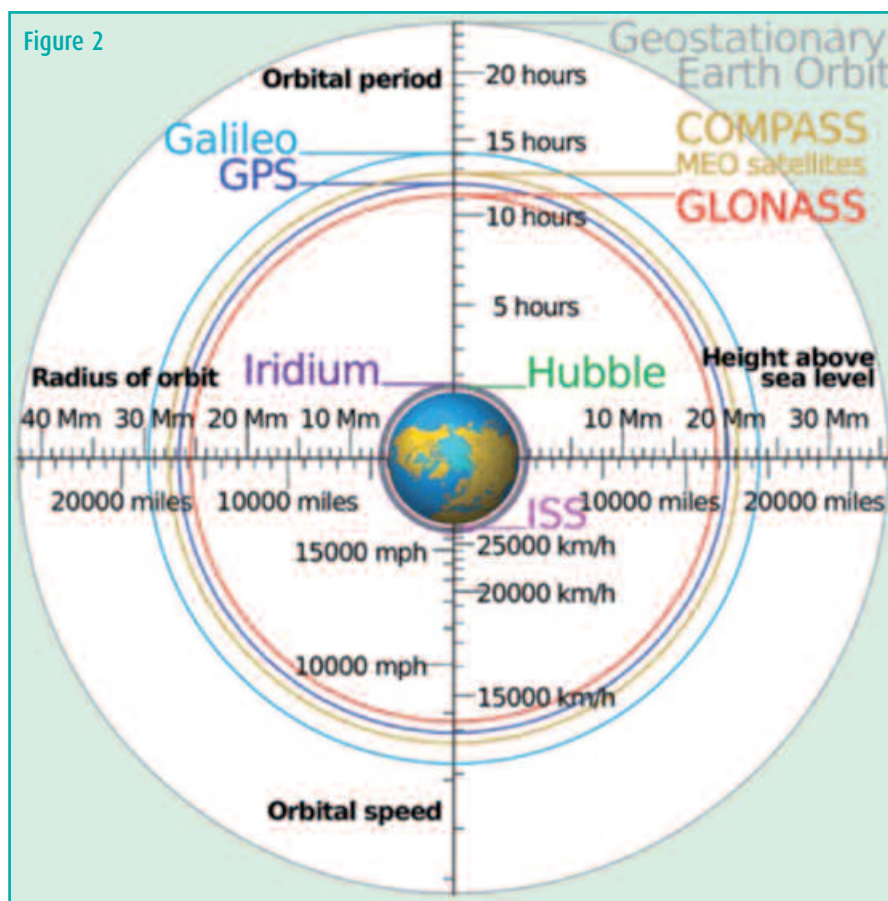


Figure 2

vances de connexion et d'itinérance ainsi que les problèmes de latence potentiels inhérents à l'utilisation de l'internet. C'est pourquoi la radiodiffusion par satellite doit être préférée à la radiodiffusion terrestre.

Le choix de la radiodiffusion par satellite donne théoriquement lieu à trois options : les satellites en orbite basse (LEO), les satellites en orbite moyenne

(MEO), ou les satellites géostationnaires (GEO). (Voir la figure 2.)

Les meilleurs candidats parmi les LEO actuels sont des constellations de télécommunications (comme Iridium ou Globalstar). Toutefois, la diffusion de données de correction par le biais de ces satellites consommerait une portion importante de la bande passante des données sur les canaux de communi-



tion bidirectionnelle, nécessitant probablement des coûts de connexion énormes, sans parler de la nécessité de doter les récepteurs d'un terminal de téléphone par satellite.

Dans tous les cas, pour des raisons pratiques, les GEO sont mieux placés que les LEO pour une communication unidirectionnelle. Donc, le vrai choix en matière de canaux de diffusion de données de correction devrait se situer entre les MEO (seulement des satellites de navigation jusqu'à maintenant) et les GEO.

La diffusion depuis une constellation de MEO offre des avantages significatifs par rapport aux satellites géostationnaires :

- une meilleure couverture des canyons naturels et urbains et des latitudes polaires ;
- la réduction du risque de masquage accidentel et ses conséquences (potentiellement la nécessité de relancer la période de convergence pour les récepteurs) ;
- pas besoin de charges utiles de diffusion dédiées (et les frais de connexion associés) sur GEO, car les charges utiles des satellites de navigation existent déjà.

En outre, comme les seuls satellites MEO à ce jour sont des satellites des quatre GNSS existants, des données de correction pourraient bien être diffusées sur leurs signaux respectifs de navigation. Cela aurait le très souhaitable avantage de permettre aux récepteurs de contrôler moins de fréquences radio, car ces signaux sont déjà suivis de toute façon.

De même, cela permettrait de simplifier la conception de récepteurs et presque certainement de baisser la consommation d'énergie de l'équipement de l'utilisateur. Et aussi les données de correction PPP pourraient devenir un service à part entière du GNSS.

## Les obstacles techniques et politiques

Le PPP fourni par un système mondial de navigation par satellites est néanmoins confronté à des défis techniques qui restent encore à surmonter avant de devenir une réalité :

- La continuité dans le temps de la connexion depuis les stations de liaison

montante jusqu'aux satellites n'est pas assurée aujourd'hui dans la conception des GNSS actuels. Toutefois, cela pourrait être résolu par des stations supplémentaires de liaison montante, par plus d'antennes sur ces stations, et/ou par l'introduction de capacités de communication inter-satellites.

- L'information doit être multiplexée de façon intelligente afin d'atténuer les effets de transfert, où un satellite commute d'une station à l'autre, et de masquage accidentel de satellites.

Toutefois, le principal obstacle à l'avènement d'un PPP fourni livrés par un GNSS est vraisemblablement de nature politique. En effet, pourquoi les opérateurs de ces systèmes investiraient dans les mises à niveau nécessaires de l'architecture de leur segment sol actuel ?

Les décideurs seront principalement préoccupés par les questions de savoir si l'évolution vers un PPP intégré apportera des avantages pour les utilisateurs gouvernementaux en premier lieu et si elle constitue une aubaine seulement pour les utilisateurs de haute précision existants, qui paient déjà pour des services similaires de haute précision.

Est-ce que le PPP profitera aux utilisateurs gouvernementaux, y compris aux utilisateurs militaires ? La réponse est oui. Une navigation de haute précision permettrait aux hélicoptères, aux missiles et aux drones de voler près du sol avec peu ou pas de visibilité, même dans les environnements difficiles

(comme les zones montagneuses et rocheuses). Il profitera aussi à un certain nombre d'utilisateurs gouvernementaux non militaires : les forces de police, les agences d'agriculture, de levés géodésiques et les organismes de cartographie, et ainsi de suite.

La contribution potentielle du PPP à l'aviation civile n'a pas encore été étudiée, mais on peut imaginer que, à l'avenir, un PPP mondial offrirait un niveau élevé de sécurité et même concurrencerait les systèmes publics existants d'amélioration par satellites (SBAS) actuellement utilisés par l'aviation civile ([2] J. Booth et R. Snow).

Cela signifie-t-il que les prestataires privés existants de services de haute précision devraient craindre l'avènement d'un PPP mondial ? La réponse est non. Les prestataires commerciaux ont commencé à offrir des solutions de haute précision comme un service marginal, c'est-à-dire comme un ajout à leur cœur de métier afin de satisfaire les besoins de leurs clients professionnels. Si ces entreprises se sont engagées à remédier aux limitations du GPS, elles n'ont jamais eu en revanche le besoin, ni la capacité de le supplanter – en effet, leur modèle économique est basé sur la valeur ajoutée à la ressource de base fournie par les systèmes GNSS.

En outre, la valeur ajoutée ne réside pas dans l'émission des paramètres de navigation, mais dans l'intelligence du logiciel utilisé pour automatiser les véhicules

### Au sujet du PPP, N.D.L.R.

Le positionnement précis du point (PPP) est une méthode qui effectue la détermination de position précise à l'aide d'un seul récepteur GPS (ou GNSS). Cette approche du positionnement est née de l'avènement de données d'orbites et d'horloges produites avec une précision équivalente au centimètre. Ces données peuvent être appliquées pour réduire sensiblement les erreurs dans les orbites des satellites GNSS et les horloges, les deux sources d'erreur les plus importantes dans le positionnement GNSS.

Avec la combinaison de la position des satellites et des horloges précises et d'un récepteur bi-fréquence (pour enlever l'effet de premier ordre de l'ionosphère), le PPP est en mesure de fournir des solutions de position au centimètre près, ce qui est attrayant pour de nombreuses applications statiques comme le point isolé ou dynamique telles que la cartographie aérienne et la mesure de trajectoire. La technique du PPP est différente du RTK (cinématique en temps réel) qui nécessite l'accès (typiquement par radio) à des observations d'une (ou plusieurs) station de base dont les coordonnées sont connues. Le mot "précis" est également utilisé pour le distinguer des techniques classiques de positionnement par point qui utilisent le code seul ou le code lissé par la phase comme observable principale pour déterminer la position. Actuellement le PPP est accessible en temps réel avec des systèmes commerciaux payants et gratuitement en temps différé grâce à des sites web dédiés.





miniers, guider avec haute précision les tracteurs agricoles, piloter des navires off-shore, et ainsi de suite. Le PPP mondial offrirait aux fournisseurs de services l'occasion de se concentrer sur les secteurs ayant la plus forte valeur ajoutée et leur permettrait de développer de nouveaux services utilisant les performances améliorées du GNSS pour les offrir à leurs clients. Ceci ne diminuerait pas, mais plutôt augmenterait leurs opportunités commerciales.

## Haute précision : poussée technologique

Si, ou quand, un opérateur de système GNSS annonce sa décision de diffuser des données de correction permettant le PPP et publie le document d'interface de ce nouveau service, ce changement est susceptible de déclencher le développement de nouvelles générations de récepteurs chez les fabricants, de nouveaux services pour les applications nécessitant une haute précision, et de nouvelles cartes numériques avec des résolutions beaucoup plus élevées.

Ce changement ne constituera pas une révolution, comme ce fut le cas avec l'arrêt de la *Selective Availability* en 2000. Plus probablement, ce sera une longue évolution, où les avantages se matérialiseront progressivement à mesure que le segment sol sera complété par étapes. Cette grande précision est susceptible de devenir une véritable addiction pour les utilisateurs au point de devenir le nouveau standard pour le marché grand public des récepteurs.

Une telle évolution vers le PPP sur les GNSS pourrait aussi devenir une formidable opportunité pour favoriser une plus grande coopération internationale entre les opérateurs de système, nonobstant l'aspect de défense de ces systèmes. En effet, non seulement le décalage des échelles de temps et les observables devraient être échangés, mais aussi les données de correction devraient être normalisées entre les systèmes afin de rendre la vie des utilisateurs plus facile. Une telle coopération rendrait le positionnement par PPP en temps réel vraiment interopérable, en utilisant toutes les constellations et

toutes les fréquences GNSS disponibles. Étant donné que la technique du PPP ne peut plus être ignorée, toute décision de ne pas fournir des données de correction permettant ce type d'amélioration de la précision constituerait une "Selected Unavailability", c'est-à-dire une "indisponibilité choisie". En d'autres termes, cela représenterait une décision délibérée des opérateurs de GNSS de ne pas fournir avec leurs satellites un service qui est déjà disponible sur le terrain, à savoir la transmission des données de correction nécessaires aux récepteurs capables d'utiliser le PPP.

Pour conclure, il existe des arguments convaincants pour s'attendre à ce que les GNSS s'engagent en faveur du PPP comme un complément à la navigation traditionnelle par satellites. La vraie question n'est pas de savoir s'ils seront d'accord pour cela, mais plutôt de savoir quand, et quel système fera le premier pas. ●

## Bibliographie

- [1] Bisnath, S., and Y. Gao, "Innovation: Precise Point Positioning," *GPS World*, April 2009
- [2] Booth, J., and R. Snow, "Help from Above, Flight Testing Two Alternatives to Ground-Based DGPS," *Inside GNSS*, pp. 26-35, September 2010
- [3] Cai, C., and Y. Gao, "Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations," Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Alberta, Canada, *Journal of Global Positioning Systems*, Vol.6, No.1: 13-22, 2007
- [4] French Space Agency : <<http://www.ppp-wizard.net/ppp.html>>
- [5] Fugro: <<http://img3.custompublish.com/getfile.php/882900.753.pbve.vbsyby/11+GPS+GLONASS+Precise+Point+Positioning++A+New+development+for+high+precision+navigation+and+positioning+John+Vint+Fugro+Survey+AS.pdf?return=www.nornav.org>>
- [6] German Mapping Agency, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie : <<http://igs.bkg.bund.de/ntrip/ppp>>
- [7] Jet Propulsion Laboratory of the National Aeronautics and Space Administration : <<http://apps.gdgps.net/>>
- [8] Kostadinov, A., and V. Broederbauer, and R. Weber, *Real time Precise Point Positioning*, Vienna University of Technology, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 06630, SRef-ID:

- 1607-7962/gra/EGU05-A-06630, 2005
- [9] Kouba, J., *A Guide to Using International GNSS Service (IGS) Products*, May 2009
- [10] Laurichesse, D., and F. Mercier, J. P. Berthias, P. Broca, and L. Cerri, "Integer Ambiguity Resolution on Undifferenced BPS Phase Measurements and its Application to PPP and Satellite Precise Orbit Determination," *NAVIGATION (Journal of the Institute of Navigation)*, Vol. 56, No. 2, Summer 2009
- [11] Mireault, Y., and P. Tetrault, F. Lahaye, P. Heroux, and J. Kouba, "Online Precise Point Positioning" *GPS World*, Vol. 19, No. 9 (September 2008), pp. 59-64
- [12] Natural Resources Canada, *Canadian Spatial Reference System*: <[http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp\\_e.php](http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php)>

## Contact

Olivier CHASSAGNE

Olivier.Chassagne@ec.europa.eu  
Olivier Chassagne est fonctionnaire de la Commission européenne depuis 2002. Il a rejoint l'unité de gestion du programme Galileo pour la Commission en novembre 2008 et a été impliqué dans la préparation de la phase d'exploitation d'EGNOS et de Galileo.

*Note de l'auteur : Les opinions exprimées dans cet article sont personnelles et ne reflètent pas l'opinion ou la position de la Commission européenne.*

*Publication originale dans le numéro de mars / avril 2012 de Inside GNSS, Eugene, Oregon, USA. Avec l'aimable autorisation de Glen Gibbons, rédacteur en chef.*

*Site internet de cette revue*  
<http://www.insidegnss.com/>

## ABSTRACT

*Precise Point Positioning (PPP) is a method improving the accuracy of a GPS receiver if the latter is continuously fed with precise orbits and clock corrections for GPS satellites. PPP is today available on line, thanks amongst others to websites providing such correction data in near real time, but not off-line. So why are the Global Navigation Satellite Systems not providing themselves these correction data on their own signals-in-space? The author argues that this is technically doable and that not doing it is the equivalent of a Selected Unavailability.*