

Claude Million  
(compte-rendu sommaire)

## 10<sup>e</sup> réunion de la division des satellites de l'Institut de Navigation (Kansas-City - 14/19 sept. 1997)



# ION GPS 1997

### INTRODUCTION

On écourtera la présentation qu'on avait déjà faite, une première fois l'année dernière (XYZ 1997.1 pour ION-GPS-96), en outre un compte rendu sur le vif, de la réunion de 1997, a été fait par le Dr Pascal WILLIS dans la publication précédente, voir (XYZ 1997-4).

Ce qu'on va présenter est l'analyse sommaire des publications des interventions des participants qui ont retenu notre attention, soit pour leur qualité soit par la spécificité du sujet, notamment les deux sessions de topographie et géodésie, soit, encore, pour leur caractère de généralité.

On indiquera d'abord le nom de la session à laquelle appartenait la communication, puis le nom des auteurs, enfin un bref résumé dont le plan sera fort simple : d'abord un exposé du problème, puis la solution que les auteurs ont tenté de lui apporter.

Il s'agissait, rien moins que de résumer 2 000 pages en anglais, en cinq pages !

### B1 - EFFETS ATMOSPHÉRIQUES

*S. SKONE et M. E. CANNON.*

*Les consignes opératoires dues aux limitations  
ionosphériques dans la zone  
où se produisent les aurores boréales.*

La zone des aurores boréales, comprise entre 65 et 72° de latitude magnétique, est le siège d'orages magnétiques qui provoquent des variations brusques et importantes des réfractions ionosphériques, ceci concerne le nord de l'Europe, le Canada et l'Alaska, et, probablement, le nord de la Russie.

Dans ces régions l'approche de la période de maximum d'activité des taches solaires qui est prévue autour de l'an 2000 (Cycle solaire N° 23) pousse les utilisateurs de G P S à se préoccuper dès maintenant de ce qui se passera alors.

En utilisant des récepteurs G P S bifréquence, couplés à des magnétomètres, bien répartis dans les zones intéressées il est possible de transmettre les coefficients

d'un développement en harmoniques sphériques de la réfraction ionosphérique aux récepteurs éloignés qui déterminent des positions inconnues.

### B3 - TOPOGRAPHIE ET GÉODÉSIE 1

*Stephen MALYS, James A. SLATTER, Randall W. SMITH,  
Larry E. KUNZ, Stephen C. KENYON.*

*Améliorations apportées  
au Système Géodésique Mondial W G S 84.*

Les auteurs rappellent les définitions de W G S 84 et ses origines : C'est un système de référence, un ellipsoïde avec un ensemble cohérent de constantes fondamentales, un modèle de géoïde, et un ensemble de coefficients gravitationnels qui en assurent la définition.

Les nouveautés incluent une révision de toutes ces définitions, à commencer par le système de référence lui-même qui a subi deux révisions successives. Bien entendu le système de référence n'est défini qu'indirectement par les coordonnées d'un ensemble de stations de poursuite qui étaient au nombre de cinq et qui sont bien connues de tous. À partir de ces stations les positions des satellites sont déterminées par voie inverse et leurs positions, calculées à partir de ces stations, dont les coordonnées sont considérées comme définitives, les décalages d'horloges etc., sont réexpédiées par voie ascendante, pour être rediffusées dans les messages que les satellites envoient aux utilisateurs. Le système de référence ce sont les coordonnées de ces cinq stations.

La révision a porté sur les coordonnées de ces stations qui ont été rapprochées des valeurs admises internationalement par les géodésiens. Puis on a augmenté le nombre des stations qui définissent ce système de référence afin qu'elles soient mieux réparties. Actuellement, on peut considérer que les stations de références du système international ITRF 94, et celles de WGS 84 (USA seuls) sont cohérentes à 0,10 m près. Pour l'instant il paraît impossible de faire mieux et il est déconseillé d'essayer. Il existe donc douze stations de référence qui poursuivent les satellites, et dont les positions sont connues avec un écart-type de 5 cm.

Pour conserver une telle précision il devient nécessaire de tenir compte du mouvement des plaques tectoniques ; la nouvelle définition de WGS 84 comporte une délimitation de ces seize plaques et une estimation de leurs mouvements.

Le nouveau système comprend une meilleure définition du géoïde auquel est associé l'ellipsoïde qui lui sert de référence, ceci est effectué en donnant un ensemble plus important de coefficients servant au développement en harmoniques sphériques du potentiel terrestre, ces coefficients sont non seulement dus à l'observation des satellites GPS mais des mesures laser sur satellites, des mesures du programme de définition du géoïde marin de TOPEX-POSEIDON, ERS 1, etc.

Ce qui permet de définir un géoïde connu avec un écart-type de 2 à 6 mètres.

Cela n'a pu se faire qu'au prix d'un ajustement entre les anomalies de hauteur et les hauteurs du géoïde en retranchant 0,53 mètre au grand axe de l'ellipsoïde dont la valeur devient :  $a = 6\,378\,136,47$  mètres.

*Peter J G TEUNISSEN et Denis ODIJK  
Dilution de la précision de l'ambiguïté  
Définitions, propriétés et applications.*

Les auteurs introduisent une nouvelle notion pour définir de façon simple la précision d'une détermination d'un vecteur GPS, l'ADOP, qui remplace le GDOP dans tous les cas où la détermination des ambiguïtés de phase est devenue indispensable. Rappelons que la notion de GDOP et toutes ses dérivées se trouvent liées à l'utilisation des pseudo-distances pour la détermination des coordonnées ou des différences de coordonnées. Or depuis la mise en service de l'accès sélectif on ne se sert plus de ce moyen qui est volontairement rendu très imprécis. Au contraire, on a tendance à n'utiliser que les mesures de phase qui, par nature, ne peuvent pas être brouillées.

Par conséquent, l'ambiguïté de la phase devient une inconnue entière dont la détermination conditionne la précision du résultat.

L'ADOP est la racine nième du déterminant de la matrice des variances des ambiguïtés, où  $n$  est l'ordre de la matrice des variances des ambiguïtés, il est égal à la moyenne des écarts types des ambiguïtés, si celles-ci ne sont pas corrélées, ou si on les a décorréliées. Il peut être utilisé pour calculer le volume dans lequel la recherche sera faite, il est indépendant des modèles de calcul utilisés, et du satellite de base.

Son calcul n'est pas très compliqué dans la mesure où on fait une décomposition de CHOLESKY pour résoudre les équations normales des moindres carrés.

## D1 - SEGMENT DE COMMANDE, ESPACE

*Srini H RAGHAVAN, Jack K HOLMES,  
Steve LAZAR, Martin BODGER*

*Une modulation hexaphase Tricode pour GPS.*

On voudra bien se rappeler nos interventions (XYZ 1997-2 et XYZ 1997-4 page 48) sur le sujet de la recherche d'une nouvelle longueur d'onde pour émettre soit un code exclusivement réservé soit aux militaires soit aux civils, la décision prise a été que, pour les prochains lancements de satellites GPS, il n'était pas raisonnable d'espérer obtenir rapidement satisfaction.

Une solution « provisoire » a été proposée qui consiste à émettre le code C/A sur L2 pour que les civils puissent calculer des corrections ionosphériques et de faire en sorte qu'aucune interférence de l'émission destinée aux uns ne se fasse sentir par les autres. Il est décrit une méthode qui a de grandes chances d'être adoptée.

Rappelons que pour ne pas se gêner les codes C/A et P (Y) sont émis en quadrature, c'est-à-dire à un quart d'onde d'intervalle, de cette manière ils ne sont jamais en phase et ne se superposent pas.

La nouvelle méthode proposée utilise essentiellement deux moyens :

1°/ Les deux modulations de la même porteuse utilisent le fait que les codes actuels C/A et P (Y) utilisent un « format ne revenant pas à zéro ». Un nouveau code qui ne serait utilisé que par les militaires appelé nu-code comprendrait deux phases un seul pour les codes habituels, sa valeur passant de +1 à -1 alors que les codes traditionnels passent de +1 à 0 ; il pourra donc être ajouté aux anciens codes sans la moindre gêne.

2°/ Les fréquences des codes C/A et P (Y) sont dans le rapport de 1 à 10. Ceci permet de séparer les signaux reçus, un bit C/A ne peut pas être suivi d'un autre bit de même famille s'il n'est séparé du précédent d'un temps inférieur à celui de la cadence propre de ce signal (1,023 Mcps) entre temps cinq signaux nus seront passés sans l'affecter.

Si on examine le spectre global de puissance des différents codes on remarque que les « signaux » sont bien séparés.

Le code nu aura une amplitude de +2 à -2, les anciens codes de +2 à 0. C'est-à-dire qu'un changement de bit a cette amplitude. Ils sont ainsi faciles à identifier.

L'utilisateur civil recevra le code C/A sur deux longueurs d'ondes L1 et L2 et pourra ainsi calculer des corrections ionosphériques sur le code.

Ce nouvel avantage est loin d'être négligeable, car nous allons entrer dans une période de forte activité des taches solaires.

Par ailleurs les possibilités de lissage du code par la phase ne seront plus limitées en précision par une mauvaise connaissance de la réfraction ionosphérique. Après la fin de l'accès sélectif, promis avant 2006, on pourra, à nouveau, accéder à la détermination des ambiguïtés entières par le code lissé.

## A4 - APPLICATIONS DE LA MESURE DU TEMPS

*W. LEWANDOWSKI, J. AZOUBIB, G. de JONG, G. NAWROCKI, J. DANAHER : Une nouvelle approche pour les comparaisons internationales des temps et des fréquences des satellites : des observations sur tous les satellites visibles multicanaux GPS + GLONASS.*

Cette communication montre que, malgré les différences des deux systèmes GPS et GLONASS, il est possible de transférer les temps et les fréquences en utilisant des récepteurs propres à recevoir ces deux types de signaux.

En théorie, on peut observer simultanément douze satellites GPS et autant de GLONASS (sic), en pratique on n'observe couramment que cinq satellites de chaque constellation, au-dessus de 15°.

Une des principales différences entre les deux constellations tient à l'utilisation de deux réalisations différentes, en temps et en espace, des référentiels internationaux.

En temps, GPS est fondé sur le temps UTC (USNO), C'est-à-dire le temps UTC tel qu'il est observé par l'Observatoire de la marine américaine, alors que GLONASS s'appuie sur la réalisation d'UTC par la Fédération de Russie : référentiels identiques, mais réalisations différentes.

Les différences GPS – UTC sont de l'ordre de 20 ns, en revanche, en novembre 1996 les différences UTC – UTCsU avoisinaient 8000 nanosecondes. Les opérateurs de GPS font en sorte que l'écart ne dépasse jamais 100 ans. En septembre 1996 la 85<sup>e</sup> réunion du comité international des poids et mesures a recommandé que les systèmes de temps de tous les systèmes de navigation soient synchronisés modulo 1 seconde aussi près d'UTC que cela est possible, que les systèmes de référence militaires soient transformés pour se mettre en conformité avec la référence du service international de rotation de la terre ITRF, et que les récepteurs GPS et GLONASS soient utilisés dans tous les laboratoires de conservation des temps. Depuis GLONASS ne diffère d'UTC que de moins de 200 ns. Toutefois des différences subsistent, malgré toutes les marques de bonne volonté, tant dans le système de temps que dans le référentiel terrestre.

Pour les référentiels terrestres, l'intégration de GPS dans ITRF peut être considérée comme faite avec une marge de 10 cm, en sorte que l'impact en temps est inférieur à 1 ns, en revanche la situation est différente pour GLONASS dont le système de référence PZ-90 s'en écarte de 20 m et aucune relation précise n'est connue pour passer de PZ90 à ITRF, le seul moyen pour connaître les coordonnées GLONASS est de faire une moyenne d'une série de solutions de navigation, on ne peut compter que sur une précision de plusieurs mètres.

Lorsque GPS n'est pas affecté par les mesures d'accès sélectif (S/A) la précision des éphémérides diffusées est de 5 à 10 m, alors que les éphémérides de GLONASS sont précises à 15 ou 20 m. Les éphémérides disponibles en différé après quelques jours sur GPS sont précises au décimètre près, rien de semblable n'existe pour GLONASS.

*S. DEINES : Corrélation apparente entre le systématisme en Y et les divergences des échelles de temps.*

N d T : Cette contribution met en œuvre des notions fondamentales sur la définition des temps, d'où son intérêt.

Avant de parler d'un systématisme en Y il faut définir l'axe Y en cause :

Dans ce qui va suivre la direction Z à pour origine le satellite et comme direction le centre de la terre. Si on considère le plan défini par les centres du satellite, de la terre et du soleil l'axe X lui est perpendiculaire ; l'axe Y forme un référentiel direct avec les deux axes précédents.

L'observation des satellites permet d'analyser toutes les forces qui « perturbent » leur orbite képlérienne.

Pression de radiation solaire, comprise, sur des panneaux solaires mal orientés. Toutes ces forces ont été analysées, expliquées, mesurées sauf une qui a pour effet de perturber les orbites, dans le sens du déplacement des satellites, en les retardant. Les chercheurs ont envisagé toutes les causes possibles, y compris les plus improbables, mais le fait que tous les satellites, bien qu'ils soient de masse, de conception, et de fabrication différentes laisserait à penser que les écarts seraient de nature aléatoire, alors qu'ils sont tous identiques. On sait qu'une force peut être développée par l'accélération d'une masse, dans ce cas les différences de masse des satellites devraient faire apparaître des forces différentes, or il n'en est rien. En outre, une accélération agirait comme le carré du temps, or l'erreur est proportionnelle au temps : on sait que si une force appliquée est constante, on peut avoir :

$F = m \cdot x''$ , cas qu'on vient d'envisager, mais aussi  $F = b \cdot x'$ , produit d'une résistance visqueuse  $b$  par une vitesse, enfin  $F = c \cdot x$ ,  $c$  étant, alors, un coefficient de ressort. Il n'y aurait d'explication correcte qu'une résistance visqueuse ce qui ne peut être physiquement envisagé.

En revanche, une surprenante corrélation apparaît quand on compare une apparente décélération des satellites GPS et les divergences observées entre le temps universel (TU) et le temps atomique international (TAI).

Si le temps de référence s'écoule plus vite qu'il le devrait, le temps d'arrivée se produira plus tôt que le temps actuel. Par conséquent les prédictions-satellites via les éphémérides seront uniformément en avance des observations, alors une erreur d'échelle du temps de référence utilisé par GPS pourrait exister.

La plus ancienne base de conservation du temps, s'appuyait sur la rotation de la terre autour de son axe, c'est le temps universel (TU ou TU1 pour être plus précis). Le jour solaire réel varie constamment, les angles sous lesquels les rayons du soleil sont vus de la terre changent lorsqu'elle se déplace sur son orbite elliptique et inclinée. Le jour solaire moyen est établi à partir du jour sidéral moyen que met la terre pour faire un tour complet sur son axe, les repères n'étant pas le soleil, mais des astres tellement lointains qu'on les considère comme fixes.

Comme la rotation de la terre n'est pas uniforme, un temps plus précis peut être obtenu par l'observation des corps célestes en la comparant avec ceux déduits de la théorie. Cette méthode est assez comparable aux aiguilles d'une montre passant devant les chiffres du cadran, les positions observées ou éphémérides des corps célestes déterminent les temps des événements et par cela définissent une échelle des temps, à laquelle on se réfère comme le temps des éphémérides (TE). Ce temps est, évidemment, étroitement lié à la théorie en vigueur.

En 1957-1958 des études d'étalonnage ont précédé l'établissement du temps atomique international (TAI) pour définir la seconde. Depuis, on a constaté un glissement uniforme entre le temps universel (TU) et le temps atomique international (TAI). Les deux échelles correspondaient le 1<sup>er</sup> janvier 1958 à 0 h TU, depuis le TU se traine à 31 secondes derrière le TAI.

Des sauts de secondes sont insérés les 30 juin et le 31 décembre quand cela est nécessaire pour tenir TUC à moins de 0,9 seconde de TU1 la divergence est de



0,784861 seconde par année tropique, ce qui représente 365,2421897 jours solaires moyens de nœud ascendant à nœud ascendant.

Alors qu'en navigation les positions sont déterminées d'après la rotation de la terre selon l'échelle TU, les positions GPS sont calculées d'après l'échelle TAI qui est plus précise. Les prévisions GPS sont donc en avance sur les observations GPS, c'est pourquoi il fallait inventer une force négative pour expliquer ce ralentissement.

L'auteur propose de lisser le temps universel et de recalculer les erreurs.

*Changdon KEE et Doohee YUN : Un modèle de correction ionosphérique locale pour les utilisateurs de récepteurs GPS différentiels monofréquence.*

L'idée générale est d'utiliser un récepteur bifréquence et de tirer les corrections ionosphériques de ses observations faites sur un très grand nombre de satellites sous différentes inclinaisons, pour, ensuite, les modéliser sachant qu'on estime l'altitude de la couche ionosphérique à 350 km.

On passe de la réfraction verticale à la réfraction inclinée selon le vecteur satellite-récepteur par une fonction de la distance zénithale seule. On traite la correction de réfraction ionosphérique verticale seule, en passant de l'une à l'autre en utilisant cette fonction.

Le modèle utilisé est un développement en harmoniques sphériques, avec pour paramètres la latitude géomagnétique du point de passage du vecteur récepteur-satellite au travers de la couche ionisée et l'heure locale de ce point en lieu et place de la latitude et de la longitude. Le développement est réduit à deux termes  $m = 0, 1, 2, n = 0, 1$ . les coefficients sont compensés par les moindres carrés et diffusés aux utilisateurs de récepteurs monofréquence.

Les auteurs font la distinction entre la correction à long terme, sur 24 heures et une perturbation de cette correction à court terme.

## B4 - TOPOGRAPHIE ET GÉODÉSIE 2

*Janusz B. ZIELINSKI, Anna SWIATEK, Ryszard ZDUNEK : Un système de référence par GPS pour l'étude des changements du niveau de la mer.*

L'application se fait sur le cas de la mer Baltique, trois campagnes ont été faites en 1990, 1993, et 1997.

l'intérêt de l'utilisation de GPS tient en ce que tout changement du niveau de la mer constaté sur un marégraphe ou un médimarémètre peut avoir deux causes indiscernables : le mouvement du socle continental ou le mouvement du niveau moyen de la mer (Voir : XYZ 1997-4, Robert VINCENT : Il y a 100 ans le marégraphe de Marseille).

Toutefois il est montré que se référer, comme le fait GPS, au centre des masses de la terre revient peut-être à reporter un peu loin le référentiel de la Baltique, dont les côtes elles-mêmes ne peuvent servir de repère puisqu'elles sont instables, les auteurs proposent de se rapporter au socle européen tel que défini par EU REF et ETRS qui sera la réalisation d'un référentiel Européen EU VN.

*V. ASHKENAZI, A. H. DODSON  
T. MOORE et G. W. ROBERTS :*

*Le suivi des mouvements des grands ponts par GPS.*

Il s'agit de l'étude des mouvements de deux ponts suspendus sous les effets du vent par DGPS. Le bruit de fond est de l'ordre de 2 à 3 mm il ne peut être distingué d'une situation stable. Il est étudié les déplacements verticaux, latéraux et longitudinaux des ouvrages, ceux-ci sont de l'ordre de plusieurs mètres. Les appareils ont aussi été placés sur les pylônes portant les câbles. Bien que quelques « anomalies » n'aient encore pu être attribuées soit aux mouvements soit aux erreurs de mesure, les auteurs en concluent que GPS est utilisable pour assurer le suivi des mouvements des grands ponts.

*J-Paul COLLINS et Richard B LANGLEY :  
L'estimation du retard troposphérique résiduel en GPS différentiel aéroporté.*

Lorsqu'on utilise des récepteurs bifréquence et qu'on parvient à éliminer presque totalement la réfraction ionosphérique, l'erreur commise sur le retard ionosphérique résiduel sur les doubles différences devient la principale source d'erreur. Cette erreur peut atteindre plusieurs centimètres.

Rappelons que la troposphère n'étant pas un milieu dispersif il n'est pas possible d'appliquer à cette erreur les solutions qui permettent si bien d'éliminer la réfraction ionosphérique.

Une caractéristique importante de cette contribution tient à son application à la photogrammétrie ou à la gravimétrie aéroportée.

Aux deux termes d'une base, pas trop longue, les conditions d'observation sont géométriquement trop voisines, même si les conditions météorologiques y sont très différentes, pour connaître séparément les deux retards. En revanche, si on se fixe un retard troposphérique standard à une des deux stations d'une base il est plus facile d'estimer la différence de retard de la seconde station.

En bref, les valeurs absolues sont inaccessibles alors que leur différence le devient, si on fait les mesures météorologiques, en temps réel ; à la station fixe.

Il apparaît essentiel, pour obtenir une modélisation correcte de différence de retards, d'avoir des mesures à des inclinaisons de moins de 10° (NdT : ce qui est facile en avion où on peut faire des observations sous l'horizon). Sans ces précautions opératoires, et les traitements préconisés par les auteurs, il paraît très difficile de réduire cette erreur à moins de 10 cm.

## C4 - LES POLITIQUES GLOBALES CONCERNANT GNSS, GPS, ET GLONASS.

*Karl L. KOVACH et Karen L. Van DYKE :  
GPS dans dix ans.*

Après un vaste rappel de la situation passée de GPS, les auteurs tentent une prévision sur son devenir d'ici à dix ans, tout en restant dans le cadre nécessairement restreint de ce qui est connu aujourd'hui.

Ce délai, en dehors du fait qu'il constitue un compte rond, paraît dicté par la directive de décision présidentielle du président des États Unis qui a dû prendre des leçons chez la Pythie, en déclarant en 1996 :

« Nous avons l'intention de ne pas continuer l'accès sélectif au cours de cette décennie », les auteurs en concluent que l'accès sélectif sera supprimé avant dix ans, si le Monde reste en paix.

Ils poursuivent en évoquant la certitude qu'une seconde fréquence civile sera installée et que ce sera le code en clair (C/A) qui sera installé sur L2 ; essentiellement pour les besoins de l'Aviation Civile, bien entendu tous les utilisateurs de GPS en profiteront.

Pour la même raison, ils prévoient que des lancements opportuns de satellites seront effectués pour « boucher » les zones d'ombre » où la réception est mauvaise.

De même, ils prévoient une amélioration notable de la précision sur les mesures de code, à moins de 1,90 m après 2007. Ce qui offrira une nouvelle jeunesse aux méthodes de lissage du code par la phase, et, par conséquent, l'accès à la détermination des ambiguïtés entières par ce moyen fort simple.

Ils prévoient le maintien en orbite de plus de 24 satellites en sorte que le nombre de 24 soit assuré même en cas de défaillance de l'un d'entre eux.

En matière de navigation, surtout aérienne, et sur le plan militaire, qui sont largement développés, les auteurs regrettent que les tendances actuelles reviennent à mettre « tous ses œufs dans le même panier ».

## A5 - APPLICATIONS TERRESTRES

*Jingjun GUO : Recherche sur les déplacements et les fréquences propres des grands bâtiments sous les effets de vents violents par GPS.*

L'application est faite sur la Tour DIWANG construite dans la ville de SHENZHEN en Chine du sud qui comprend un bâtiment de bureaux de 324,95 m de hauteur. Sa section forme un rectangle dont les petits cotés sont en demi-cercle.

Les mesures ont été faites à l'aide d'un récepteur fixe bifréquences au voisinage du bâtiment étudié et des récepteurs identiques placés sur le bâtiment étudié lui-même.

Les mesures ont été faites au cours d'un cyclone le 9 septembre 1996, les déplacements maximaux ont été de 10,7 cm dans le sens E-O et 7 cm dans le sens N-S, à ces déplacements d'ensemble se superposaient de petites ondulations plus fréquentes de respectivement  $\pm 17$  mm, et  $\pm 10$  mm.

L'auteur se plaint des effets des multitrajets, il note que la cadence de réception doit être supérieure ou égale à 10 Hz et que le nombre des satellites observés doit être supérieur ou égal à six avec un GDOP compris entre 2 et 3. Enfin, les logiciels de calcul du commerce sont impuissants à traiter des mesures faites à une telle cadence, il faut donc rédiger le sien propre.

Les enregistrements des déformations ont été traités en analyse de Fourier afin de déterminer le spectre de fréquence des vibrations : les plus petites fréquences sont de 0,2 Hz (cycle de 5 secondes).

Le bâtiment est plus rigide que prévu, en revanche, son amortissement doit être plus important que celui escompté, ce qui fait que sa fréquence propre mesurée correspond à celle qui était prévue dans les calculs.

## B6 - RESOLUTION DES AMBIGUÏTÉS ET LOCALISATION CINÉMATIQUE.

*René GOUNON et Jean-Pierre BARBOUX : La technique KART de Dassault Sercel NP étendue aux réceptions bifréquences : De nouvelles applications sont possibles.*

Cet article est cité pour mémoire, car les lecteurs de XYZ en ont eu connaissance, les premiers, dans le n° 73 (1997-4) page 33.

*B. FORSELL, M. MARTIN-NEIRA, R. A. HARRIS : Résolution des ambiguïtés de phase dans GNSS2.*

Il s'agit de la suite de la communication de RR. HATCH « The promise of a third frequency » : GPS World mai 1996 qu'on avait évoquée dans XYZ N° 71 1997-2, et du développement de cette idée.

L'agence spatiale européenne (ESA) étudie, en vue du lancement de satellites européens civils, les potentialités de l'utilisation de trois fréquences d'émission judicieusement espacées. Il s'agit de la description préliminaire, en vue de sa validation expérimentale, de la méthode des trois porteuses (TCAR).

Cette méthode est simplement une extension de la méthode bien connue de la voie large. Les trois porteuses sont espacées de telle sorte que leurs différences de fréquences forment une progression régulière. Les deux fréquences « extérieures » forment un « chemin large » conventionnel, alors que les deux fréquences les plus voisines forment un chemin « super large ». Dans la mesure où le bruit et les systématismes entre les échelons sont suffisamment petits, l'entier d'ambiguïté à chaque étape du calcul peut être estimé à l'aide de la pseudodistance de l'étape précédente.

Le calcul se fait en quatre étapes :

### 1<sup>ère</sup> étape

On estime la pseudodistance par le code de  $f_1$ . Ceci forme le terme de référence (ref) qui est une forme biaisée de la distance géométrique réelle avec des facteurs d'erreurs et des systématismes résiduels. Les systématismes de ref se propagent jusqu'à la dernière étape, où elles sont éliminées (NdT : On n'a vraiment pas compris pourquoi on ne les élimine pas tout de suite, il peut s'agir d'une obscurité dans la rédaction).

$$pd = ref + erreurs$$

### 2<sup>e</sup> étape

Des mesures de phase sur les porteuses sont faites sur  $f_1$  et  $f_2$ , avec un oscillateur de référence commun. En prenant la différence, en termes de cycles, entre les deux phases, phase 12, chacune exprimée dans sa propre fréquence soit  $f_1$  ou  $f_2$ , on peut former une pseudodistance en termes de longueurs d'onde 112, à la fréquence de « la voie super large »  $f_{12}$ , avec  $f_{12} = c/112$  et  $f_{12} = f_1 - f_2$ . Le terme « super large » indique que, si les deux fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont voisines, la longueur d'onde 112 sera très grande par rapport aux longueurs d'ondes 11 ou 12. Il est alors plus facile, avec une estimation un peu imprécise de la distance géométrique de calculer l'entier d'ambiguïté N12.

Si distance =  $pd = 112 \cdot (N12 + \text{phase } 12)$ , si N12 est un entier.

On calcule  $N12 = \text{arrondi de } (pd/112 - \text{phase } 12)$ .

### 3<sup>e</sup> étape

On recommence comme à l'étape 2, mais en utilisant une valeur plus proche de la vérité que la pseudodistance  $pd$ , mais cette fois-ci avec la combinaison  $f1-f3 = f13$ , et  $113 = c/f13$ , c'est la « voie large » :

On calcule  $N13 = \text{arrondi de } (N12 + \text{phase } 12) \cdot 112/113 - \text{phase } 13$ .

### 4<sup>e</sup> étape

La mesure de phase sur 11 permet d'estimer le nombre de cycles entiers de  $f1$  soit  $N1$  :

On calcule  $N1 = \text{arrondi de } (113/11 \cdot (N13 + \text{phase } 13) - \text{phase } 1)$ .

Enfin distance =  $(N1 + \text{phase } 1)$ . Il, après estimation des erreurs de réfraction ionosphérique, ce qui est facile car ce qu'on pouvait faire avec deux fréquences est encore plus facile avec trois.

Il ne reste que les erreurs de modélisation de réfraction troposphérique qui doivent rester inférieures à la moitié de 11, soit environ 10 cm, ce qui paraît facile.

Ces idées devraient être concrétisées par des essais sur satellites.

Il s'agira de trouver trois créneaux radioélectriques, ce qui est une toute autre histoire...

## LA PHOTOGRAMMETRIE NUMERIQUE EVOLUE...

C.H.S. remercie les 3 000 internautes qui ont visité son site

**[www.chs-carto.fr](http://www.chs-carto.fr)**

en décembre 1997

**Continental Hightech Services**  
**370, avenue Napoléon-Bonaparte**  
**92500 Rueil-Malmaison**  
**Tél. 01 47 51 57 47**