

Mesure au fil et ruban d'Invar sur le polygone d'entraînement de l'école spéciale des travaux publics

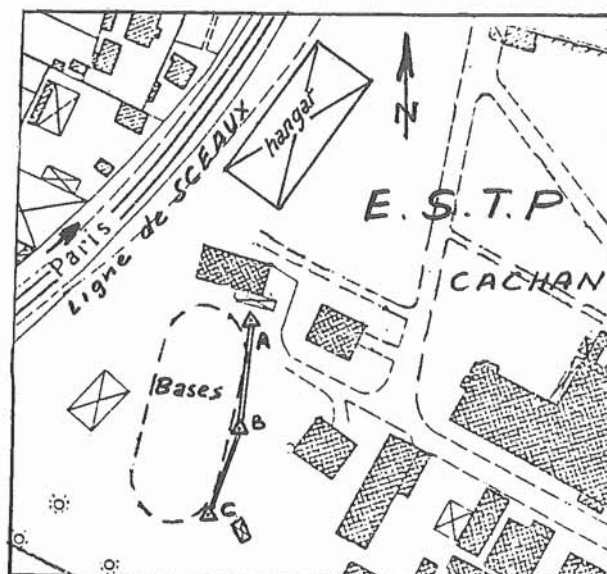
Profitant de la "Rencontre AFT" de Cachan, à l'école spéciale des travaux publics le 29 octobre 1986, et du temps splendide qui a agrémenté cette journée, une équipe d'anciens de la Société Française de Stéréotopographie, tous membres de l'AFT à l'exception d'un seul, s'est adonnée aux joies de la mesure de deux bases géodésiques, entre 3 piliers de stationnement.

Les mesures ont été faites "aller et retour" avec deux fils d'invar de 24 mètres et d'un ruban de 4 mètres pour les appoints sous tension de 10 kg.

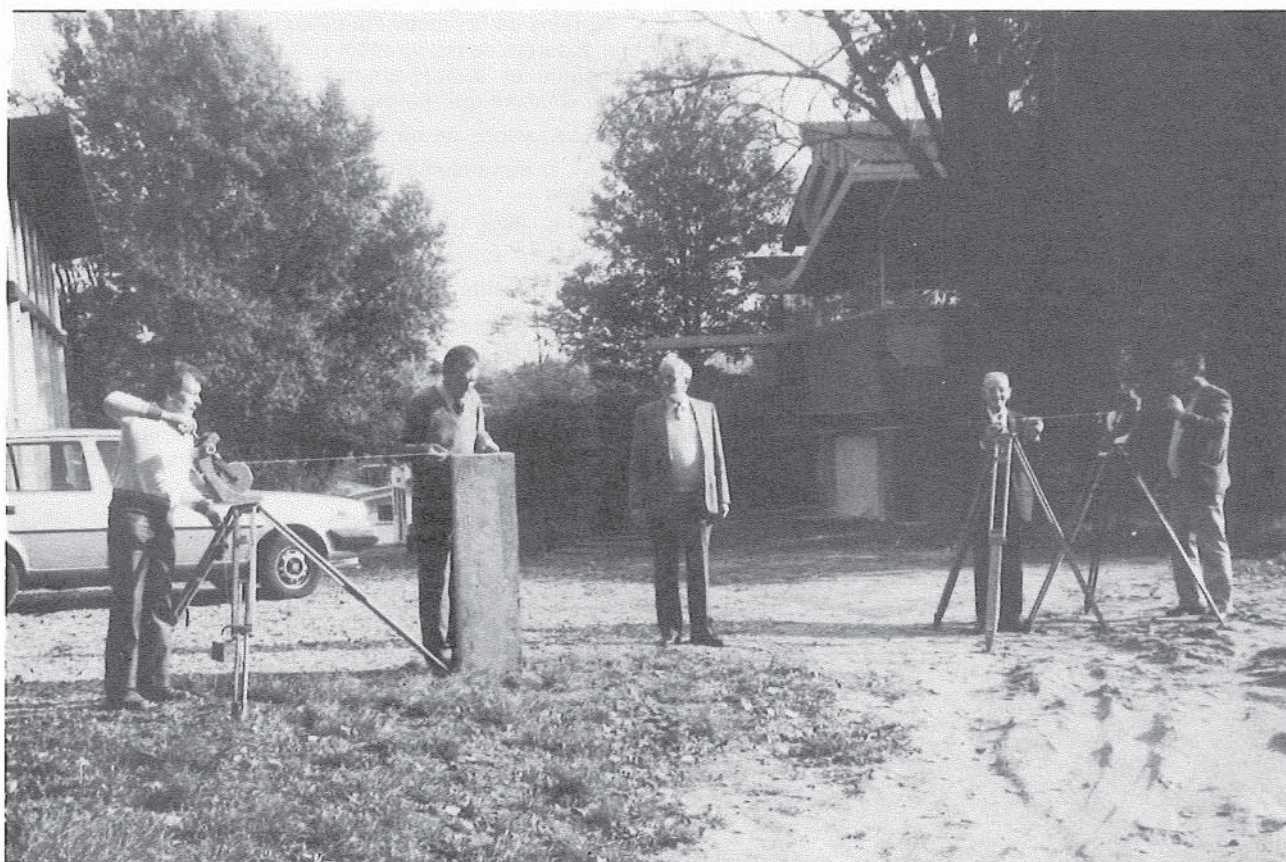
La précision a été excellente puisque les résultats suivants ont été arrondis aux dixième de millimètre !

Base AB = 33 m 9825

Base BC = 27 m 4670



Plan établi par le Cabinet Delbard en 1972.



Mesure de l'appoint au pilier A au ruban d'invar de 4 mètres avec le poids tenseur de 10 kg. De gauche à droite, MM. Dellenbach, Schlumberger, Vincent, de Fontguyon, Paulau. Matériel obligeamment prêté par la Société Française de Stéréotopographie.

Spot

par J.-P. LE GORGEU, SPOT IMAGE

SPOT 1 a été mis en orbite par le lanceur ARIANE le 22 février 1986. Le lancement a eu lieu à 1 h 45 GMT depuis la base de Kourou, Guyane. Lors de ce Tir V16, ARIANE a mis en orbite, en même temps que SPOT, le satellite scientifique Suédois VIKING. Les données orbitographiques ont indiqué très rapidement l'excellente précision de l'orbite : apogée mesurée de 833 km par rapport aux 836 prévus, périgée de 818 km au lieu de 817. De plus, l'inclinaison de l'orbite par rapport à la ligne des pôles se révélait de 98,77 degrés au lieu des 98,74 degrés prévus, autorisant la prise d'images immédiate, sans correction d'inclinaison de l'orbite. L'ensemble du segment sol entraînait alors en fonctionnement : le Centre de Contrôle et de Mission (CCM) chargeait le 1^{er} programme de travail dans l'ordinateur de bord du satellite dès le 22 au soir, les premières images étaient prises le 23, reçues par la Station de Réception des Images SPOT d'Aussaguel (SRIS), prétraitées par le Centre de Rectification des Images Spatiales (CRIS), et restituées par SPOT IMAGE. La qualité des premières images reçues confirmait l'excellent fonctionnement du satellite. La présentation de ces images (Turin, Nice, Djebel Amour) avait lieu le 26 février.

Commençait alors la recette en vol, période de deux mois pendant laquelle ont été évalués les performances du satellite, le fonctionnement des stations de réception ainsi que des moyens de prétraitement et de restitution.

La recette en vol prononcée le 6 mai précisait les qualités radiométriques et géométriques de l'image :

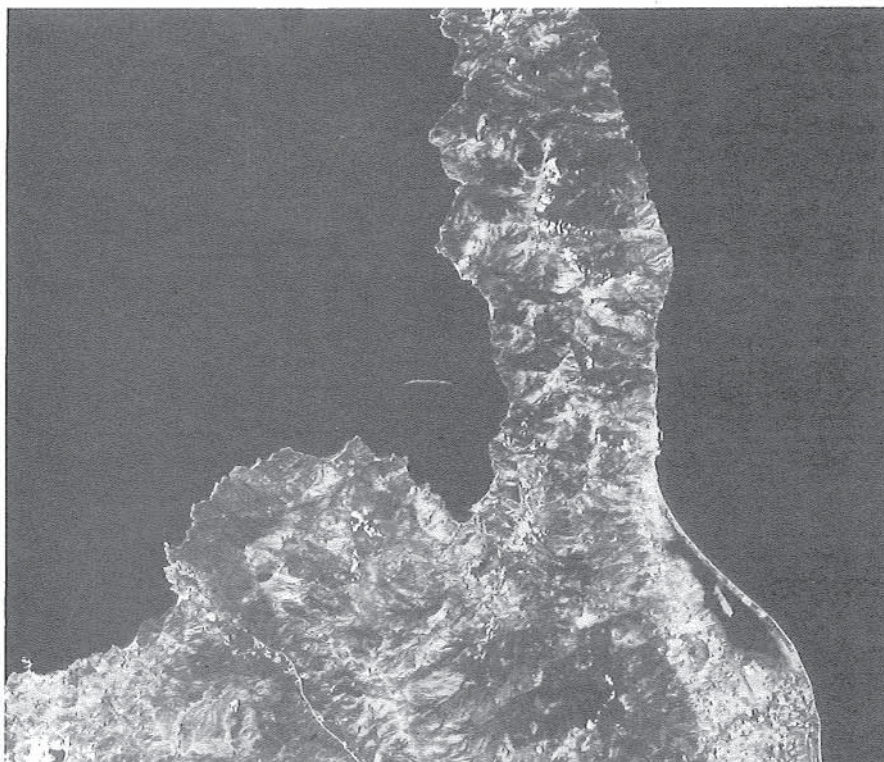
Radiométrie : le rapport signal/bruit s'est révélé meilleur que les spécifications retenues à l'exception toutefois de la bande panchromatique du HRV 2. La superposition des trois canaux dans le mode multibande est obtenue à 0,2 pixels près au lieu des 0,3 pixels de la spécification initiale.

Géométrie : précision de localisation : en niveau 1B de prétraitement, la précision mesurée est de 800 mètres au lieu de 1 500 mètres de la spécification initiale ; en niveau 2 elle est de 30 mètres au lieu de 50 mètres. Quant à la distorsion, c'est-à-dire la variation d'échelle à l'intérieur d'une image ; en niveau 1B elle est de 1,5. 10⁻³ au lieu des 10⁻² de la spécification. Par leur stabilité, les barrettes de diodes de transfert confèrent à l'image SPOT des qualités géométriques excellentes.

Enfin, l'évaluation des possibilités stéréoscopiques entreprise par l'IGN sur un certain nombre de sites tests du Sud-Est de la France concluait à la possibilité de déterminer l'altitude avec une précision inférieure à 5 mètres. Il est donc possible de réaliser à partir de couples stéréoscopiques des cartes topographiques à l'échelle du 1/50 000^e.

Après la recette en vol commençait l'utilisation de toutes les possibilités du satellite. Les images étaient transmises aux deux stations principales de Toulouse et de Kiruna (Suède) au rythme de 1 400 images par jour. A partir du 16 juillet entraient en service les stations canadiennes de Prince Albert et Gatineau permettant la réception directe d'images de l'ensemble du continent Nord Américain. A la fin de l'année, environ 200 000 images étaient en archive. Celle-ci ira en augmentant avec la mise en service en 1987 de nouvelles stations en Chine, Bangladesh, Pakistan, Arabie Saoudite, Canaries.

Ces images sont immédiatement répertoriées au catalogue que SPOT IMAGE met à la disposition des usagers. Environ 80 organismes consultent régulièrement par des moyens télématiques l'archive des images recueillies.



Cap Corse : scène 058-264, image du 30 juillet 1986. Mode Panchromatique, Niveau de Prétraitement 1B. Scène entière. Echelle 1/200 000°. Golfe de Saint-Florent, Péninsule du Cap Corse, Bastia, Etang de Biguglia. (Copyright CNES, 1986, Distributeur SPOT IMAGE).

La Rochelle : scène 035-257, image du 27 juin 1986. Mode Panchromatique, Niveau de Prétraitement 1B. Scène entière. Echelle 1/200°. Baie de l'Aiguillon - Ile de Ré - La Rochelle - La Charente

Ile d'Oléron. (Copyright CNES, 1986, Distributeur SPOT IMAGE).



SPOT IMAGE diffuse également à ses clients des Quick Look, imagerie sous échantillonnées permettant le contrôle de la qualité de l'image notamment en ce qui concerne la couverture nuageuse.

A Toulouse, les images sont prétraitées selon les commandes reçues. Quand la capacité nominale du CRIS n'est pas utilisée, des prétraitements systématiques d'images de qualité sont entrepris. A la fin de l'année 86, l'archive des produits prétraités se montait à environ 3 000 scènes SPOT.

SPOT IMAGE distribue les images SPOT à travers le

réseau commercial mondial dont la mise en place avait précédé le lancement. SPOT IMAGE consacre ses efforts à la qualité des produits (Bande Magnétiques, Films) ainsi qu'aux délais de leur livraison.

Des événements survenus pendant l'année ont mis en valeur les capacités de SPOT.

Les médias ont largement diffusé les images de Tchernobyl comme celles des incendies de forêt du Sud de la France, révélant au public la finesse des images SPOT ainsi que les capacités de prise de vues répétitives du système.



Cap d'Agde : scène 046-263, image du 4 avril 1986. Mode Panchromatique, Niveau de Prétraitement 1B. Quart de Scène. Echelle 1/100°. Etang de Thau, Agde, Rivière l'Hérault, autoroute la Languedocienne. (Copyright CNES, 1986, Distributeur SPOT IMAGE).

Le système GPS et son impact en géodésie, topométrie et cartographie

par C. BOUCHER et P. WILLIS, IGN France

Cette note a pour but de mieux faire connaître le système GPS en tant que technique nouvelle de géodésie spatiale ainsi que d'établir le bilan actuel des possibilités d'utilisation et des résultats déjà obtenus.

1. Historique et description du système GPS

Le Global Positioning System (GPS), aussi appelé Navstar/GPS (Navigation Systems by Timing And Ranging), est un système mondial de positionnement par satellites. Initialement à but militaire, cette technique a été conçue et réalisée par le DoD (Département de la défense Américaine). Si le concept date des années 60-70, les premiers tests de faisabilité n'ont été effectués que vers les années 70. Le système est actuellement en cours de validation et ne sera déclaré pleinement opérationnel que dans l'année 1989-90. Le but militaire de ce système est de fournir en temps réel, partout et à tout instant les positions, vitesses et époque de l'utilisateur.

1.1 Le segment spatial

Le système complet comprendra 18 satellites (plus 3 satellites de secours) dont les orbites sont réparties suivant 6 plans. Ces satellites gravitent autour de la Terre avec une période d'environ 12 heures à une altitude de l'ordre de 20 000 km. A cette altitude, le freinage atmosphérique ainsi que les irrégularités du potentiel terrestre sont faibles. Par contre les problèmes de pression de radiation doivent être pris en compte avec soin. Cette disposition des orbites permettra d'observer en tout point du globe, à tout instant de 4 à 7 satellites.

Actuellement, seuls 7 satellites sont sur orbite et permettent d'effectuer des observations avec 4 ou 5 satellites dans une fenêtre de 2 à 3 heures par jour suivant sa position sur la Terre. Chaque satellite dispose d'une horloge ultra-stable embarquée (Césium ou Rubidium) permettant de générer 2 fréquences appelées L1 (1575.42 MHz) et L2 (1227.60 MHz). Sur ces porteurs sont modulés des codes pseudo-aléatoires : P (Précision) dont l'accès n'est autorisé qu'aux organismes militaires Américains et C/A (Coarse Acquisition), code non classifié accessible à tous les utilisateurs potentiels.

Sur ces porteuses est aussi modulé le message qui comporte en particulier les éléments kepleriens des orbites permettant de calculer à tout instant les positions et vitesses des satellites.

1.2 Le segment de contrôle

Les orbites de ces satellites, ainsi que le bon fonctionnement des horloges embarquées sont vérifiés par des stations au sol, dites de contrôle. Pour le GPS, ces stations sont au nombre de 4 : Vandenberg, Hawaï, Alaska et Guam.

1.3 Le segment utilisateur

L'utilisateur du GPS dispose d'un récepteur approprié. Dans ce récepteur, une horloge ultra-stable (en général un quartz) génère une (ou deux) fréquence(s) proche(s) de la (des) fréquence(s) GPS de manière à produire une onde de batttement. De plus, les récepteurs décodent par eux-mêmes les messages provenant des satellites.

2. Les mesures GPS

Deux types de mesures sont possibles : les pseudo-distances et les phases.

2.1 Les pseudo-distances

La lecture de la pseudo-distance nécessite la reconnaissance des codes C/A ou P. Cette reconnaissance est effectuée dans la boucle de corrélation du récepteur (corrélation entre le signal reçu et les codes générés par le récepteur). La pseudo-distance n'est en fait que la différence du temps de réception de la transition de code (lue suivant l'horloge du récepteur) et du temps d'émission de la même transition (lue suivant l'horloge du satellite). Ce temps de parcours du signal est biaisé à cause des décalages d'horloges. 4 pseudo-distances permettent de calculer la position du récepteur et le décalage d'horloge par une sorte de relèvement dans l'espace (les satellites jouant le rôle de points connus). Ce type de mesure est non ambigu mais peu précis (bruit de mesure de l'ordre du mètre).

2.2 Les phases

La donnée la plus précise est fournie par la valeur de la phase de batttement. Pour la fréquence L1, la longueur d'onde est d'environ 20 cm. Le bruit de mesure sur les phases est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$ cycle (soit 1 mm). La mesure de la phase est malheureusement une mesure ambiguë (partie décimale mesurée + partie entière déterminée par un comptage de tours). La partie entière de la phase initiale demeure inconnue. Ce type de mesure nécessite un traitement différentiel entre plusieurs récepteurs (souvent appelé à tort interférométrie) et ne peut donc être réalisé en temps réel. Il faut noter que deux récepteurs permettent de déterminer un point nouveau alors que trois récepteurs, par exemple, en déterminent deux. Un nombre de récepteurs important permet donc de gagner très nettement sur le nombre de points à déterminer en un temps limité. Les techniques, désormais classiques, de traitement sont les suivantes (figure 1) : simples différences (récepteur-récepteur), doubles différences (récepteur-récepteur et satellite-satellite), triples différences (récepteur-récepteur, satellite-satellite et époque-époque). Ces méthodes permettent de s'affranchir respectivement des biais d'orbite, des biais d'horloges récepteurs et des ambiguïtés entières des phases initiales.

2.3 Les récepteurs

Deux principaux types de récepteurs sont actuellement disponibles sur le marché mondial : les récepteurs à code et les récepteurs sans code. Les récepteurs à code génèrent le code GPS C/A et utilisent la fréquence L1 pour le cas général des récepteurs civils non Américains (on exclut de cette présentation les récepteurs militaires ainsi que quelques récepteurs disponibles qui utilisent aussi le code P). Ils permettent l'enregistrement des pseudo-distances, des phases de plusieurs satellites simultanément ainsi que du message. Les récepteurs sans code, multiplient le signal reçu par lui-même de manière à s'affranchir de la connaissance a priori des codes. Ils ne peuvent donc mesurer que des phases mais ont accès aux deux fréquences L1 et L2. De plus, ils nécessitent une synchronisation préalable des horloges des récepteurs avant chaque expérience.

Figure 1 — Technique du traitement

figure 1

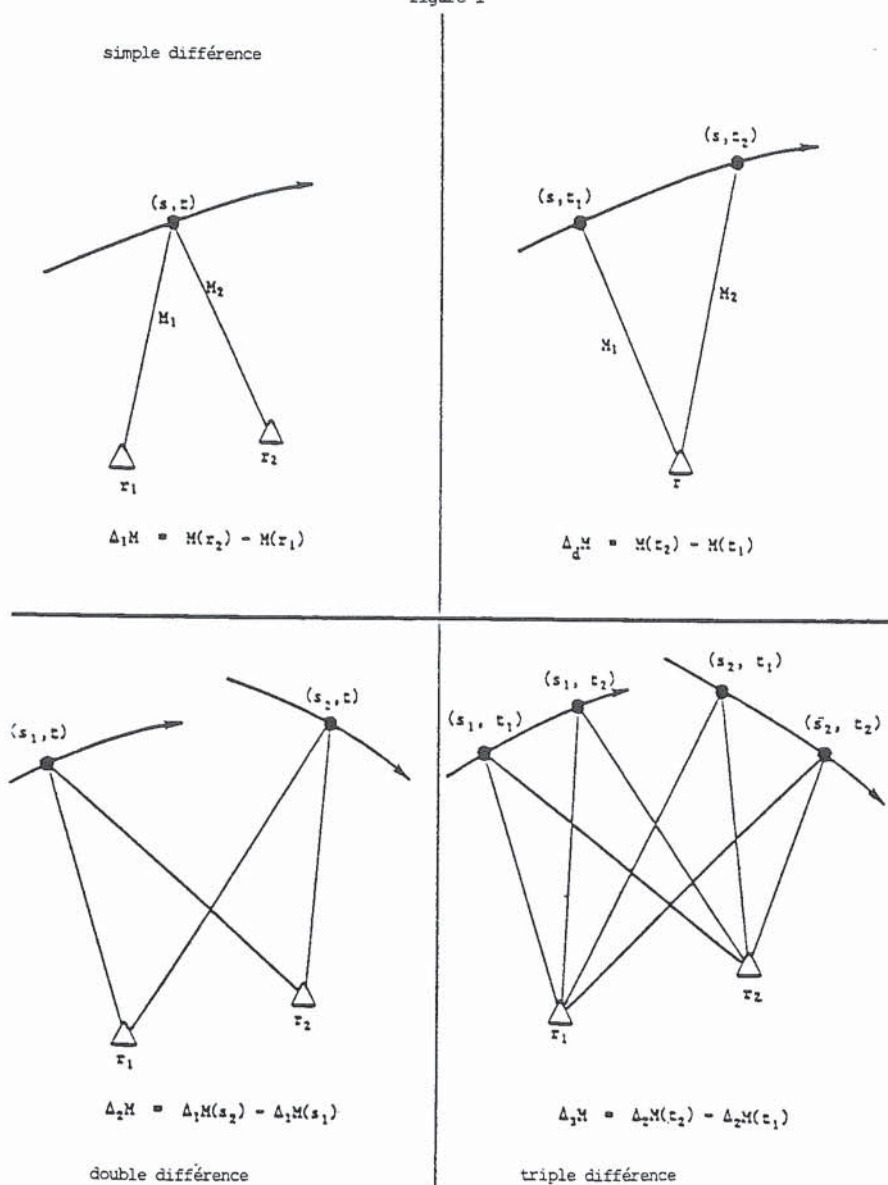


Table 1 — UTILISATIONS ET PERFORMANCES DU GPS

Méthode	Type de mesures	Durée des observations	Précision	Application	Exemples
Point isolé	Pseudo-distance	1 s	30 m	Militaire	
		10 mn	20 m		
Navigation	Pseudo-distance	10 mn	5 m à 10 km 10-20 jusqu'à 100 km	Positionnement expédié Navigation Stéréo-préparation préparation rapide d'un réseau de points d'appui	— Afrique/Inertiel
Géodésie	Phases	1 h	1 cm à 10 km	Géodésie	— CERN — Marégraphes — Collocations avec sites lasers et VLBI
			10 cm à 1 000 km sous conditions		
Temps	Pseudo-distance Phases	10 mn	10-100 ns	Transfert de temps	— LASSO
		à l'étude	à l'étude		

3. Utilisations et performances

Seules sont décrites ici les utilisations civiles du GPS (récepteur à code uni-fréquence et récepteur sans code bi-fréquence). 4 types différents d'applications du GPS sont considérés (tableau récapitulatif).

3.1 Point isolé

Les pseudo-distances fournissent une solution temps réel (durée inférieure à 1 seconde) de la position et vitesse du récepteur au sol. La précision du résultat obtenu dépend principalement de la constellation des satellites observables (nombre de satellites et géométrie de la cons-

tellation). L'exactitude du résultat est de l'ordre de 30 m en instantané.

Par filtrage (en général, filtre de Kalman), après quelques minutes, l'exactitude est de l'ordre de 20 m en position absolue. Principalement les erreurs sont des biais provenant de la mauvaise qualité des éphémérides enregistrées dans le message. Ces erreurs ne s'éliminent donc pas lorsque l'on augmente la durée des observations.

3.2 Solution navigation différentielle

Cette technique, très semblable à celle du point isolé, utilise les pseudo-distances. Elle consiste à retirer les biais

GPS EVALUATION CIBLE

3D + T moving user

4°18'45.682°N 2°14'8.185°H 181,09 m

Racorded at : St NAZAIRE

Start : Mar 27, 1985 17 h 49 m 48.0 s

End : Mar 27, 1985 18 h 0 m 11.4 s

SVa : 8 8 9 11 12

Nombre points : 1848

Valeur moy x : .9

Ecart type x : 1.4

Valeur moy y : 4.1

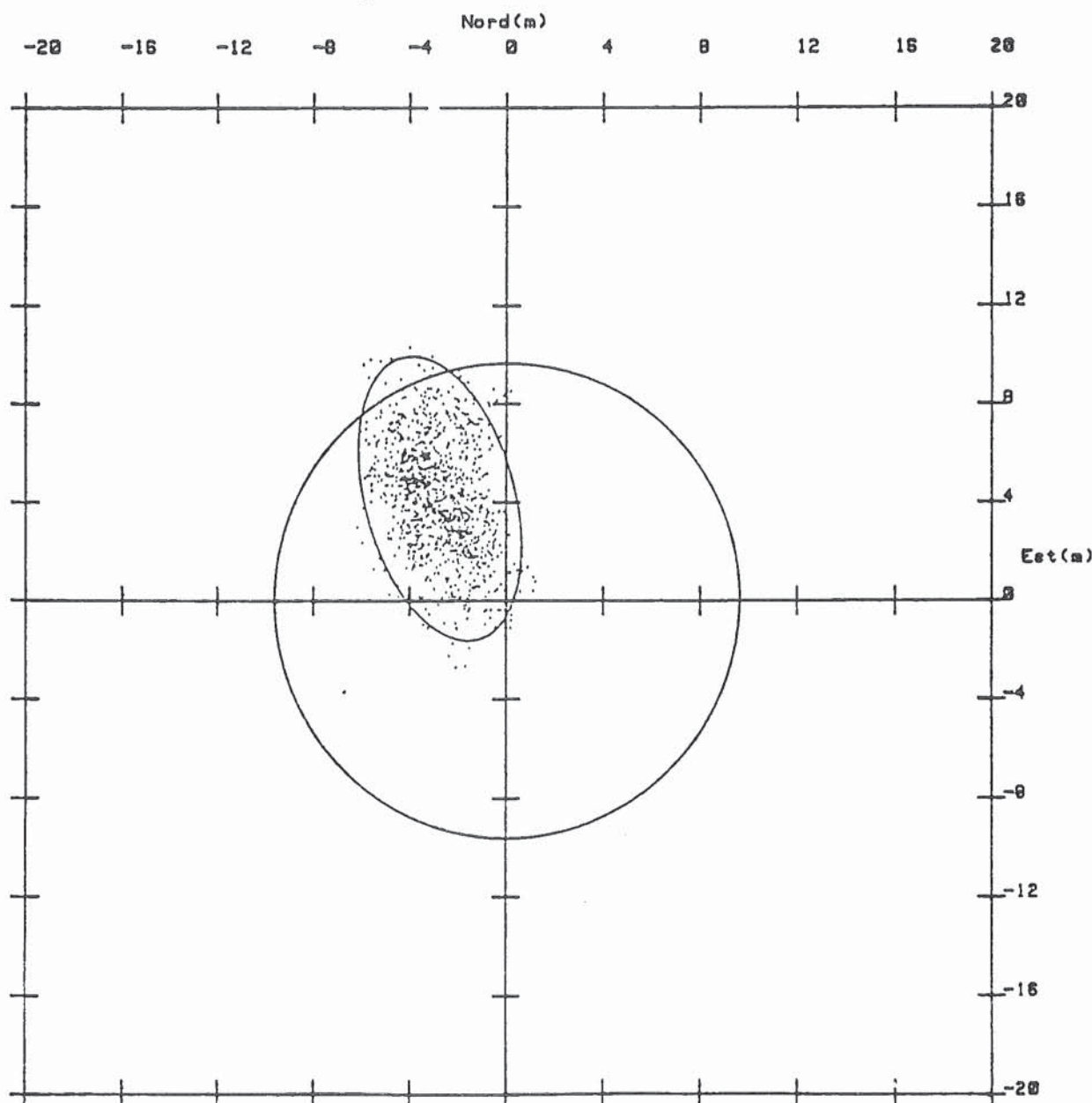
Ecart type y : 2.4

Valeur moy z : - 11.5

Ecart type z : 2.3

R 95 % : 9.6

Figure 2 — Station de Saint-Nazaire



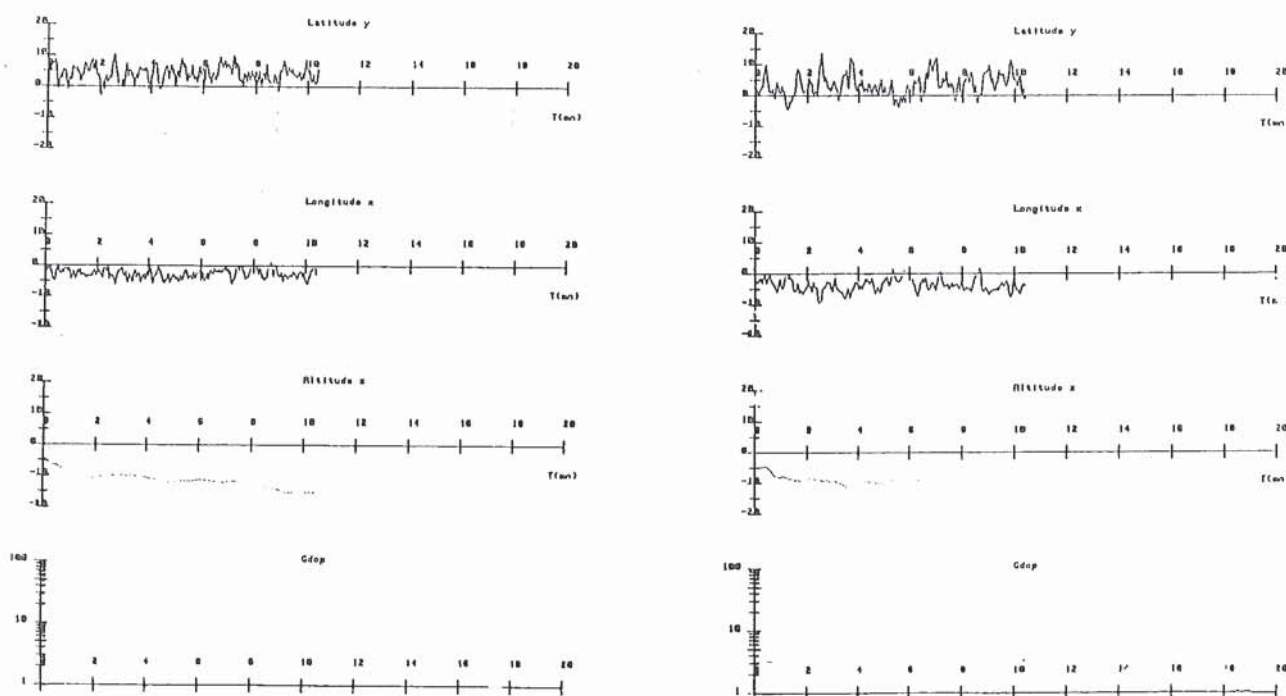
1) Point St-Nazaire

— Longitude — $2^{\circ} 14 \text{ mn } 8 \text{ s}$, 165
 — Latitude $47^{\circ} 16 \text{ mn } 45 \text{ s}$, 602
 — Altitude 100,10 m

2) Point de Campbon

— Longitude — $1^{\circ} 59 \text{ mn } 49 \text{ s}$, 233
 — Latitude $47^{\circ} 23 \text{ mn } 57 \text{ s}$, 973
 — Altitude 127,67 m

Figure 3



sur la position du récepteur dus aux orbites lorsque l'on connaît un point au sol (exemple un point fixe à terre et un récepteur embarqué sur un bateau). L'exactitude du résultat sur la ligne de base entre les deux récepteurs (et ceci dans les trois directions) devient de l'ordre de 5 m pour une distance allant jusqu'à 50-100 km. La durée d'observation nécessaire est d'environ un quart d'heure. Cette technique semble très adaptée pour la navigation, la stéréopréparation (les spécifications pour Spot sont de 3 m pour des distances plus faibles) ou l'obtention rapide d'un réseau de point d'appui nécessaire à d'autres techniques (exemple : technique inertielle).

3.3 Géodésie

Pour l'application géodésique, la donnée des phases est essentielle et nécessite donc un traitement différentiel après la mission. Pour des observations d'une durée d'une heure, sur des bases de l'ordre de 10 km, la précision centimétrique est couramment obtenue (soit en relatif $10^{-6} = 1 \text{ ppm}$). Cette technique s'étend pour des lignes de base allant jusqu'à la centaine de km et est parfaitement adaptée à la géodésie. Les limitations de la méthode sont principalement due à la connaissance insuffisante des orbites des satellites, aux corrections ionosphériques (à grande distance) et à la qualité des horloges des récepteurs. Il est ainsi possible d'obtenir ou d'entretenir un réseau national homogène d'une précision de 1 ppm (partie par million).

A l'heure actuelle, des résultats montrant une précision de 0.1 ppm sur des bases de plusieurs milliers de km (soit quelques décimètres) ont été démontrés. Ces résultats ont été obtenus en utilisant des récepteurs bi-fréquences (pour corriger au mieux le retard ionosphérique), des horloges ultra-stables (masers à hydrogène, césium, rubidium) et une bonne connaissance des orbites des satellites (orbites précises calculées a posteriori).

3.4 Transfert de temps

Les pseudo-distances permettent de comparer l'horloge du récepteur au sol avec l'horloge embarquée du satellite et donc ainsi de la comparer avec le temps coordonné GPS. On peut ainsi synchroniser deux horloges terrestres situées aux deux points terrestres éloignés. Il est actuellement possible de réaliser des transferts de temps avec une précision de 10 à 100 ns. L'utilisation des phases est encore en cours d'étude.

4. Statut actuel et projets à l'IGN

L'Institut Géographique National (IGN) a acquis en janvier 1985 un premier récepteur GPS de type TR5S de Sercel. L'action de recherche et développement entreprise a pour objectif :

- de développer un logiciel de traitement permettant l'analyse des données GPS dans ses diverses options ;
- de déterminer les performances du système ;
- de mettre au point des procédures opérationnelles d'acquisition et traitement dans les diverses utilisations envisageables à l'IGN.

Ces travaux en cours sont menés à bien et bénéficient d'une bonne coopération avec le constructeur. Par ailleurs diverses campagnes expérimentales de mesure ont été réalisées ou sont en projet avec le concours de nombreux organismes qui disposent ou vont disposer de récepteurs semblables (CEA, SHOM, CNES, IPGP...).

Les campagnes réalisées à ce jour sont :

- test de recette sur le polygone de Bretagne (janvier 1985, 2 stations) ;
- test de recette du récepteur CEA sur le polygone de Bretagne (mars 1985, 3 stations) ;

— test en région parisienne, comparaison avec Transit et Argos, calcul d'un modèle ionosphérique (mai 1985, 4 stations) ;

— mesures comparatives avec T14100 et Macrometer sur le polygone Turtmann en Suisse (oct. 1985, 7 stations) ;

— mesures sur le réseau du CERN (oct. 1985, 8 stations), cf. 4.1.

— mesures sur le réseau Cassino en Italie (mai 1986, 8 stations) ;

— mesures en Méditerranée occidentale (France, Italie) (mai 1986, 11 stations), cf. 4.2.

— participation à une expérimentation avec la Hollande comprenant des points en France avec horloges à césium ou rubidium (juin 1986).

Plusieurs campagnes sont également prévues :

— détermination de l'altitude du Mont-Blanc (juillet 1986, 3 stations) ;

— connection franco-britannique vers Calais, avec rattachement de marégraphes (août 1986) ;

— campagne européenne de poursuite (décembre 1986), cf. 4.2 ;

— campagne en Méditerranée (1987) en France, Espagne et Maroc avec traversée de Gibraltar et rattachement de marégraphes, cf. 4.2.

4.1 Performances obtenues

Lorsque la configuration des satellites visibles est satisfaisante, les performances de position en point isolé sont aisément atteintes. La cible (figure 2) ci-contre obtenue à St-Nazaire avec le logiciel de navigation Sercel montre les positions instantanées en planimétrie. Les données proviennent du test de mars 1985 près de Nantes. La position de référence a été déterminée en WGS72 par l'IGN.

Le traitement en navigation différentielle est illustré sur 20 min d'enregistrements simultanés de Camphon et St-Nazaire issues de la même campagne (figure 3). Les graphiques respectifs en latitude, longitude et altitude montrent une superposition au niveau de quelques mètres.

Le traitement géodésique est illustré par des premiers résultats des campagnes Turtmann (tables 2 à 4) et CERN (table 5) qui montrent une précision centimétrique sur des distances de la dizaine de km.

4.2 Applications envisagées

4.2.1 Rattachement de marégraphes

L'utilisation de GPS pour rattacher des marégraphes à des stations spatiales de référence (laser, VLBI...) connues à quelques centimètres près dans un système géodésique mondial permet de déterminer l'altitude ellipsoïdale à 10 cm voire quelques cm, selon l'éloignement du marégraphe de ces stations et la méthode utilisée. Ces informations, d'un type nouveau sont d'une importance fondamentale pour la calibration des missions radar altimétriques par satellite au-dessus des océans, ainsi que pour la détermination des variations séculaires du niveau moyen des mers, corrélées avec la fonte des glaces polaires et l'accroissement du CO₂ dans l'atmosphère.

L'IGN souhaite participer aux programmes de contrôle géodésique des marégraphes et a déjà organisé des campagnes pilotes.

4.2.2 Réseau européen d'orbitographie GPS

Un projet de réalisation d'un réseau permanent européen de poursuite des satellites GPS a été mis au point récemment avec la participation active de l'IGN. Les principaux objectifs envisageables pour une telle entreprise sont :

Table 2 - GPS-Solutions for different receiver types

Receiver type	RMS of E. trans. (m)	Rotations in arcsec around			Scale f. (mm/km)
		X-axis	Y-axis	Z-axis	
V-1000	0.008	1.0 ± .3	-1.2 ± .4	-1.3 ± .2	1.0 ± 1.0
TR55	0.015	0.4 ± .6	-2.1 ± .7	-1.7 ± .4	2.3 ± 2.0
TI-4100	0.010	1.3 ± .9	-0.5 ± .5	-1.7 ± .4	-1.4 ± 2.1

* 18 coordinates and 19 ambiguities

Table 3 - Comparison of the different GPS-Solutions with the terrestrial solution (Helmert transformation)

Receiver type	Freq.	Receiver cl. error	Ambiguities resolved	#Obs.	#Par.	RMS of sing. diff.
V-1000	L ₁	Synchro.	all	1590	18	0.005 m
TR55	L ₁	C/A-code	70 %	4642	37*	0.005 m
TI-4100	L ₁ , L ₂	P-code	all	4070	12	0.005 m

Table 4 - Helmert transformation of the GPS-Solution to the terrestrial solution

Station number and name	Residual in meters in a local system (north, east, up)		
2 BRAENTSCHEU	-0.001	-0.002	0.006
3 JEIZINEN	-0.003	-0.002	-0.002
4 ERGISCH	0.003	-0.002	0.009
5 OBEREMS	0.007	0.001	-0.009
6 AGARN	-0.003	0.011	0.007
7 TURTMANN	0.003	0.003	-0.008
8 SUSTEN	-0.006	-0.009	-0.003

(G. BEUTLER et al., Austin 1986)

Table 5

BASELINE LENGTHS - SERCEL 1985 CERN CAMPAIGN

TABLE OF SLOPE DISTANCES AND THEIR RMS ERROR PROGRAM PART 1

NR		4 F
5	O	6458.935
	N	6458.933
	M	.933
	RMS	0.006

TABLE OF SLOPE DISTANCES AND THEIR RMS ERROR PROGRAM PART 2

NR		4 F
5	O	6458.935
	N	6458.931
	M	.928
	RMS	0.001

O = TERRAMETER
N = SERCEL
M = MACROMETER

(D'après G. BEUTLER et al., CERN 1986)

- contrôle de la qualité des éphémérides radiodiffusées dans le message et calcul a posteriori de corrections orbitales ou d'éphémérides améliorées autant que de besoin ;

- mise à disposition des mesures brutes recueillies par des stations du réseau pour des traitements différentiels avec des stations voisines réalisées par un organisme ;

- essais de modèles d'ionosphère régionaux pour la correction des mesures monofréquences ;

- éventuellement, diffusion en temps réel de corrections différentielles de position pour l'amélioration du point isolé statique ou dynamique.

D'autres utilisations de ce réseau qui pose des problèmes opérationnels non négligeables sont aussi envisageables, telle que la transmission de signaux type GPS à des satellites géostationnaires qui les répéteraient et permettraient ainsi de compléter la constellation originale.

Afin d'aider le travail d'étude, une campagne de mesure européenne est prévue fin 1986, en colocation avec des stations bien déterminées en position (laser, VLBI).

4.2.3 Réseaux géodynamiques locaux

L'utilisation pour des réseaux de déformation notamment à des fins géodynamiques est évidemment d'un intérêt majeur étant donné la précision accessible en une heure de mesure, voire moins !

Des campagnes dans les Pyrénées et à Djibouti sont envisagées par l'IPG de Paris et l'IGN.

4.2.4 Lasso

Cette expérience de synchronisation entre stations laser via un satellite géostationnaire doit fournir une exactitude de la nanoseconde. Il est fondamental de pouvoir relier ces échelles de temps aux laboratoires primaires

de temps qui participent au BITH (constitution du Temps Atomique International) et à des radiotélescopes qui sont synchronisables par VLBI. Le système GPS répond à cette demande.

4.2.5 Applications opérationnelles

Les applications opérationnelles en géodésie sont aussi évidentes que les applications scientifiques. En considérant les trois modes standards :

A = navigation instantanée (20 m)

B = navigation différentielle (3 m)

C = géodésie en une heure (mieux que 1 ppm)

on peut citer les usages suivants :

- stéréopréparation des prises de vue aérospatiales à petite échelle (A) et à moyenne échelle (B).

- canevas géodésiques de tous ordres (C) ;

- stéréopréparation à grande échelle (C) ;

- nivellement expédié (B) ;

- nivellement de précision (C) avec géoïde consistant ;

- surveillance de déformations (C) ;

- mouvements importants (B) e.g. calotte glaciaire.

L'utilisation de ce système est aussi indirectement utile pour le cartographe et le géodésien (navigation et localisation des vecteurs, orbitographie de satellites géodésiques...).

5. Conclusions

Toutes les performances présentées sont accessibles dès maintenant pendant plusieurs heures de la journée (ou de la nuit !).

Lorsque le système sera opérationnel, ceci sera disponible à tout instant et en tout lieu. Il est malheureuse-

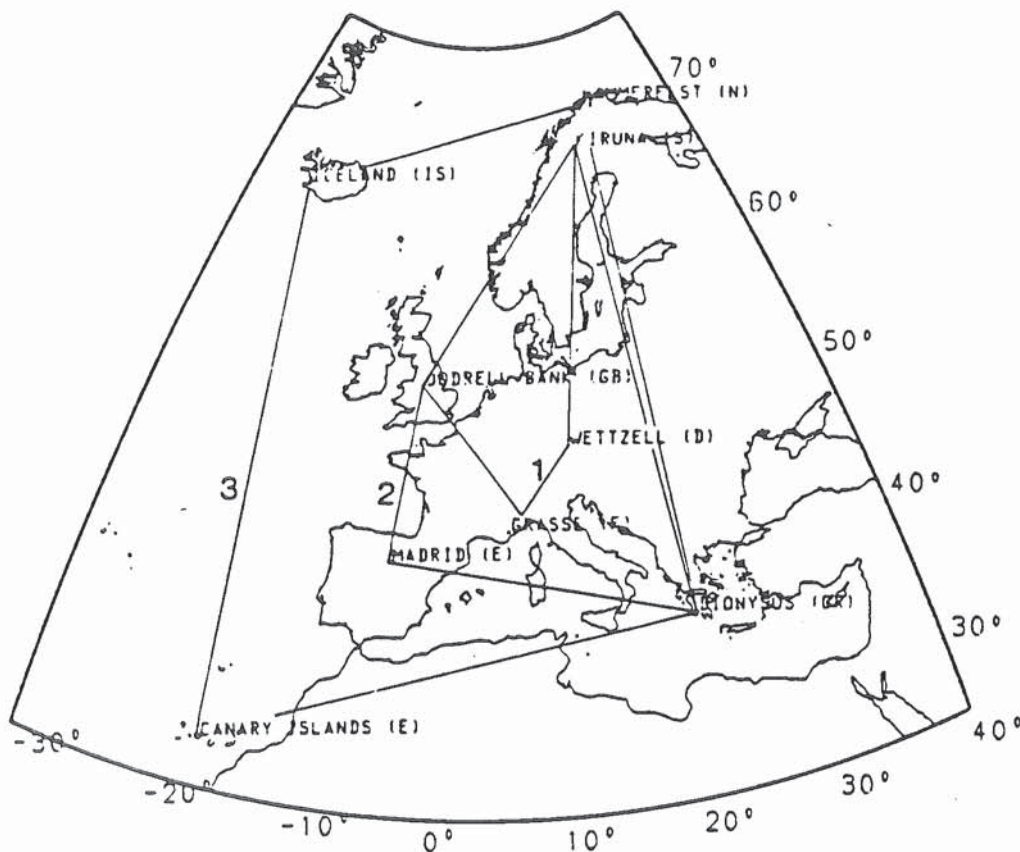


Figure 4 — Considered european tracking networks in the GPS orbit determination feasibility study

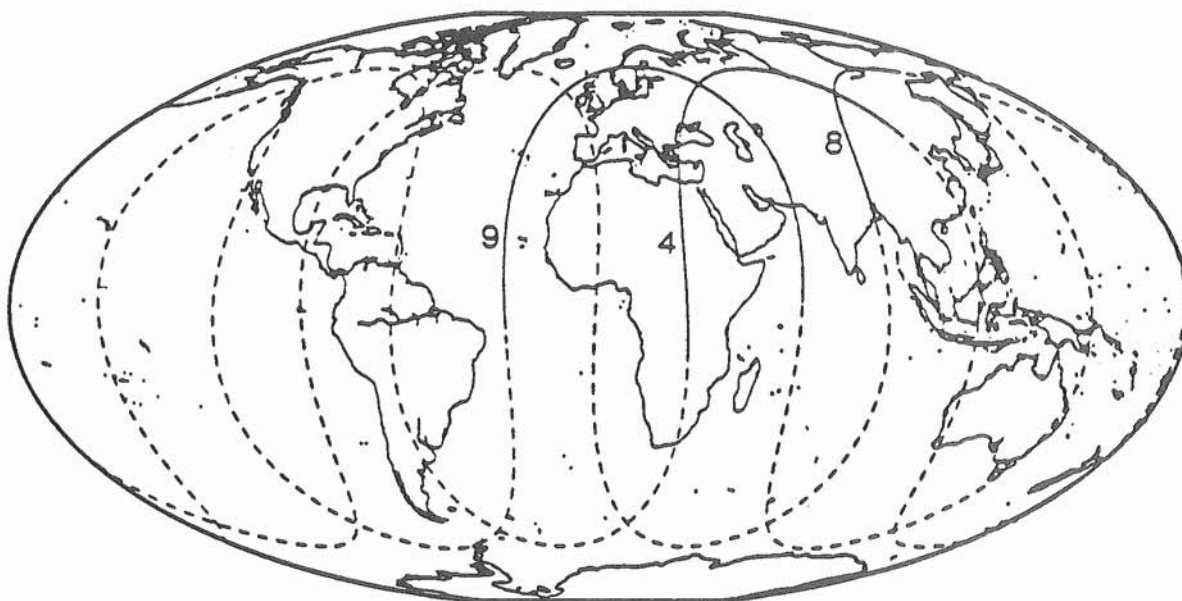


Figure 5 — Ground tracks of Navstar = 4, Navstar = 8
and Navstar = 9

(H. LANDAU, G. HEIN, Austin 1986)

ment prévu de diminuer la précision temps réel. L'application géodésique C devrait ne pas être altérée mais A ne donnera plus que 100 m et B vraisemblablement 10 m. Ce système garde donc toute sa puissance pour les applications géodésiques et cartographiques.

Bibliographie

Description du système

C. Boucher, Le système Navstar/GPS et ses applications géodésiques, numéro spécial GPS, Navigation, p. 17-30, n° 129, janvier 1985.

S. Baker, GPS Development and deployment, course on applied geodesy for particle accelerators, CERN, avril 1986.

Les mesures GPS

P. Willis, C. Boucher, C. le Coq, The IGN geodetic software system for GPS data analysis, 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin (USA), 1986.

B.W. Remondi, using the Global Positioning System (GPS) phase Observable for relative geodesy : Modeling, Processing and Results, Doctoral Dissertation, 1985.

C. Goad, Precise relative positioning with GPS, course on applied geodesy for particle accelerators, CERN, avril 1986.

Utilisations et performances

J. Gervaise, M. Mayoud, G. Beutler, B. Gurtner, Tests of GPS on the CERN-LEP Control network, Joint meeting FIG — Study group 5B and 5C on Inertial, Doppler and GPS measurements or National and Engineering Surveys, 1985.

Y. Bock, R.I. Abbot, C.C. Counselman, R.W. King, A.R. Paradis, Processing of GPS observables in the network mode, 4th Austin 1986.

R.L. Merell, Application of GPS for transportation related engineering surveys, 4 th Austin 1986.

H. Landau, G. Hein, Preliminary study of a feasibility study for a european GPS tracking network proceed, 4 th int. geod. symp. on satellite positioning, Austin 1986.

G. Beutler et Al., Determination of GPS orbits using double difference carrier phase observations from regional network, proceed. 4 th int. geod. symp. on satellite positioning, Austin 1986.

G. Beutler, Comparison between terrameter and GPS results and how to get there CERN accelerator school applied geodesy for particle accelerators, Geneva 1986.

M. Rothacher et Al., The 1985 swiss GPS campaign, 4 th int. geod. symp. on satellite positioning, Austin 1986.

