

INFORMATIONS

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE SUR LA LOCALISATION GPS

Des représentants de différents organismes français se sont réunis le 20 novembre 1986 à Brest pour examiner ensemble différents problèmes de localisation, principalement avec le système GPS. La réunion avait été organisée par J. Guillemot de la Société Elf Aquitaine, dans le cadre du groupe de travail Localisation en Mer avec le support d'Ifremer. Les participants ont échangé leurs informations et expériences sur l'emploi de GPS dans leurs travaux et les prévisions de son développement.

L'Ingénieur Général de l'Armement Schrupf

Infonav SERVICE DE REFERENCES NAVIGATION

INFONAV QU'EST-CE QUE C'EST ?

INFONAV est le nom de baptême du Centre d'Information "Navigation" que l'Institut Français de Navigation a été chargé d'instituer au niveau national en vue de promouvoir une meilleure connaissance de l'état de l'art en la matière.

Il n'était pas question pour l'IFN* de créer encore un nouveau système de documentation spécifique ; plus simplement, il entend de mettre sur pied, à la fois à l'usage des concepteurs et à celui des décideurs et utilisateurs, un "service de références Navigation".

Cela veut dire qu'après avoir dressé un inventaire exhaustif de l'ensemble des personnes et organismes travaillant en France dans tel ou tel domaine afférent à la navigation, il établira un répertoire thématique complet de cet ensemble, répertoire dont la gestion, avec l'aide d'un index de descripteurs appropriés, mettra le centre INFONAV en mesure de répondre immédiatement à toute question du genre :

- Qui fait quoi en matière de "Navigation"
- Qui peut me renseigner sur quoi en matière de "Navigation"

*INSTITUT FRANÇAIS DE NAVIGATION
3, avenue Octave Gréard — 75007 Paris
Tél. : 42.60.33.30 — Poste 27343

III^e COLLOQUE NATIONAL SUR LA LOCALISATION EN MER

Rueil-Malmaison — 28 septembre — 2 octobre 1987

Le 3^e Colloque National sur la Localisation en Mer aura lieu du 28 septembre au 2 octobre 1987, dans le grand amphithéâtre de l'Institut Français du Pétrole : 4, avenue de Bois-Préau, 92506 Rueil-Malmaison.

Il est organisé par le groupement Localisation en Mer.

Pour toute information complémentaire, s'adresser au : Secrétariat Scientifique du Colloque, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine, 3, avenue Octave Gréard — 75200 Paris Naval, téléphone : 42.60.33.30, M.B. Schrupf, poste 27.362, M. J.-C. Guyon, poste 27.295.

CONGRES INTERNATIONAL DES INSTITUTS DE NAVIGATION

(2 au 5 février 1988), à l'Université de "New South Wales", Sydney - Australie.

Trois ans après le cinquième Congrès International des Instituts de Navigation tenu à Tokyo du 1^{er} au 5 octobre 1985, le sixième Congrès International se tiendra à Sydney, Australie, du 2 au 5 février 1988, sur le thème : "Développements & techniques de la navigation du XXI^e siècle".

1. — Systèmes élaborés de Navigation ;
2. — Traitement de l'information en Navigation ;
 - Sélection & Acquisition ;
 - Traitement ;
 - Visualisation.
3. — Emploi Général des systèmes de Navigation :
 - Communication et comptabilité ;
 - Spécifications ;
 - Période transitoire.

NAV. 87 The 1987 Conference of *The Royal Institute of Navigation, London, 29-30 septembre, 1^{er} octobre.

* The Royal Institute of Navigation, 1 Kensington Gore, London, SW7 2AT. Téléphone : 01.589.5021.

BAREME D'ADHESION POUR 1987

CATEGORIE	Adhésion (droit d'inscription)	Cotisation à Association AFT	Abonnement Revue XYZ (F.I.L., etc...)	Somme due (total)
Ingénieurs, géomètre-expert, indépendant, cadres Personnes morales	50 F	200 F	130 F	380 F
Techniciens, agents de maîtrise, Retraités, cadres et ingénieurs	30 F	70 F	130 F	230 F
Etudiants, stagiaires Service National Retraités techniciens et agents de maîtrise	10 F	15 F	130 F	155 F

— Droit d'adhésion, cotisation et abonnement sont indissociables et doivent être réglés en même temps.

— L'abonnement comprend : la TVA au taux de 4 % pour les résidents en France, le surcoût des frais d'expédition, éventuellement par avion, pour les résidents hors de France.

Utilisation du système GPS pour la détermination des coordonnées précises d'un point

par G. BONIN, SERCEL

Avant-propos

Lorsque j'ai été contacté par M. Bailly pour participer à cette rencontre concernant GPS, j'ai quelque peu hésité sur le thème que j'allais tenter d'exposer.

Constructeur de matériels, j'aurais pu expliquer la structure et la constitution technique des récepteurs GPS que nous fabriquons dans notre société et tirer parti du fait que ce matériel français, le seul actuellement disponible, obtient par ses caractéristiques des résultats équivalents aux meilleurs matériels américains comparables disponibles sur le marché.

J'ai craint de trop m'enfoncer dans la technique électronique et de vous ennuyer avec des S/B, des dB !

J'aurais pu présenter des résultats de mesure, et j'ai préféré laisser à M. Boucher le soin de faire état des essais entrepris et des résultats obtenus.

J'ai donc choisi de m'éloigner de ma spécialité et d'essayer de m'approcher de la vôtre en m'adressant à l'utilisateur, plus qu'au technicien, et en essayant de montrer les "grandeurs" et aussi les "servitudes" qui s'attachent à ce nouvel intrus dans le monde de la mesure, qui ne peut vous laisser indifférent car il deviendra, demain, votre outil de travail.

1. INTRODUCTION

La détermination précise des coordonnées d'un point intéresse en tout premier lieu géodésiens et topographes.

Le choix des techniques utilisables pour permettre cette détermination dépend du type de travail à effectuer, travail pour lequel il s'agit de trouver le meilleur compromis possible entre précision, facilité de mise en œuvre et productivité au meilleur coût.

Ce compromis, toujours difficile à optimiser, laisse l'homme de l'art devant le choix entre différentes méthodes faisant appel à différents moyens dont il convient de vérifier l'adaptabilité à la situation.

2. RAPPEL DES METHODES UTILISABLES

Les appareils les plus classiques, permettant de mesurer des distances, associés ou non à la mesure d'angle, se réfèrent aux méthodes de triangulation ou de trilatération. L'onde dont on mesure le temps de propagation aller-retour peut être lumineuse : visible ou infrarouge ; elle peut également être radioélectrique. Chacun de ces types d'appareils : Géodimètre, Distomat, Telluromètre, est bien adapté pour tout ce qui concerne le positionnement sur des distances de courtes ou moyennes portées et ne se distingue fondamentalement que par le choix de la fréquence porteuse, support de l'information à mesurer.

— L'avantage principal des **appareils à onde lumineuse** est la désignation précise de la cible, associée à l'absence de réflexions parasites sur les obstacles voisins du trajet direct ; en contrepartie, la portée relativement faible, une dizaine de kilomètres, est principalement due à la diffusion de l'onde émise par les particules en suspension dans l'atmosphère. Cette méthode nécessite l'intervisibilité entre stations.

— Les **appareils à ondes radioélectriques** présentent des avantages et inconvénients tout à fait opposés : portée plus importante, indépendance des conditions de visibilité mais une grande sensibilité aux réflexions et multiples trajets.

On peut grossièrement dire que l'ensemble des méthodes utilisant des appareils EDM (Distancemètre électronique) permettent d'obtenir des précisions meilleures que

10^{-5} de la distance avec des matériels éprouvés, de prix abordable, faciles à mettre en œuvre et à opérer.

Si l'on peut penser que ces méthodes ont atteint leur limite de précision, elles utilisent tout de même les appareillages qui, bénéficiant de l'évolution technologique, sont de mieux en mieux adaptés à l'environnement terrain (poids, consommation, manipulation, calibration) et délivrent une information de distance élaborée et directement utilisable.

— Parmi les méthodes qui ne nécessitent pas l'intervisibilité entre stations, les **méthodes inertielles** permettent d'obtenir des précisions élevées mais les contraintes de mise en œuvre, l'importance du matériel et les coûts d'opération peuvent être très élevés.



— Les méthodes "**photogrammétriques**" demandent que les points à localiser soient survolables et photographiables et que des points de référence en nombre suffisant soient déjà localisés. Ces méthodes nécessitent en outre des post-traitements importants. En revanche, souvent utilisées pour la cartographie, elles restent intéressantes malgré leur coût, lorsqu'il s'agit de déterminer un grand nombre de points dans une zone donnée.

— L'utilisation de signaux radioélectriques transmis par les satellites décrivant des orbites circulaires polaires de période de l'ordre de deux heures constitue un autre type de méthode utilisable. Le **système Transit**, développé par l'US Navy, est utilisable pour les applications civiles depuis une vingtaine d'années ; employé en navigation sur un mobile en évolution, il est aussi utilisé à point fixe dans des opérations de géodésie.

La mesure sur les fréquences 400 et 150 MHz consiste à évaluer la variation de phase due à l'effet doppler ; elle permet alors de déterminer la différence des distances du récepteur supposé immobile aux deux positions occupées par un satellite décrivant son orbite à l'insu des tops espacés de quelques minutes. On obtient donc à la surface de la terre un lieu de position hyperbolique. Plusieurs mesures effectuées au cours d'un même passage ou de plusieurs permettent de déterminer un point.

La détermination précise de la position suppose, bien entendu, la connaissance de la position du satellite. Un message diffusé par le satellite permet de calculer cette position. Pour des applications précises, des réseaux d'orbitographie installés au sol garantissent une plus grande précision sur ces paramètres orbitaux. Une précision d'une centaine de mètres peut être atteinte en position absolue. En utilisant une technique de translocation : utilisation de deux récepteurs, l'un installé à un point connu, l'autre au point dont on veut déterminer la position, il est possible de réduire les erreurs résiduelles. Par intégration des mesures sur un temps s'étalant sur quelques jours, on peut atteindre des précisions de l'ordre de 50 mètres en absolu, quelques mètres avec le réseau d'orbitographie, quelques décimètres par des techniques de translocation sur des lignes de base de plusieurs centaines de kilomètres.

Les matériels utilisables sont compacts, faciles à mettre en œuvre, d'un coût relativement peu élevé mais la productivité est affectée par la durée des opérations pour atteindre de hautes précisions.

3. LE SYSTEME GPS

Le système GPS "Global Positioning System", sous contrôle de l'Armée Américaine, permet d'ores et déjà, malgré une constellation de satellites incomplète, de satisfaire la plupart des problèmes intéressant géodésiens et topographes. Les géodésiens se sont intéressés les premiers à ce nouveau système qui ne peut laisser indifférents les topographes et qui allie la haute précision des méthodes conventionnelles à un coût abordable. Il présente, par rapport au système radioélectrique Transit, une rapidité de mesure 10 à 20 fois supérieure pour l'obtention d'un point.

Les caractéristiques techniques du système GPS sont déjà bien connues et ont fait l'objet de différentes publications citées en bibliographie. Nous nous contenterons d'en rappeler les principes et d'insister sur les précautions qu'il convient de prendre avant d'effectuer une mission.

Rappel du principe de fonctionnement

Les satellites émettent sur deux fréquences porteuses L1 et L2 : 1575,42 MHz — 1227,60 MHz des signaux modulés en phase par deux séquences pseudo-aléatoires de longueurs différentes, appelés "codes".

— Un premier code appelé C/A est émis sur la fréquence L1 avec une durée de 1 milliseconde.

— Un second code, appelé P, est émis sur les fréquences L1 et L2 avec une durée de 37 semaines.

En plus des codes, un message de navigation appelé "Data message" participe à la modulation des deux fréquences.

Ce message de navigation, périodiquement réactualisé par les stations de contrôle situées au sol, est rediffusé par les satellites et contient toutes les informations :

- Almanach : données orbitales grossières de tous les satellites.
- Ephémérides : données orbitales précises de chacun des satellites.
- Données propres à chaque satellite, qui concernent la marche et la dérive de l'oscillateur atomique servant de référence de temps.

Tous les satellites émettent sur les mêmes fréquences ; seuls les polynômes générateurs des codes C/A et P permettent la discrimination des satellites trackés.

La mesure effectuée par un récepteur est une mesure de temps de propagation entre chacun des satellites et le récepteur. Cette mesure de temps incorpore le temps de trajet des ondes dans le milieu ionosphérique, dispersif et inhomogène, et est référencée à une horloge locale du récepteur non synchronisée sur le temps d'émission. La conversion du temps mesuré, corrigé des erreurs ionosphériques et troposphériques, en une distance incorpore donc l'équivalent en distance du décalage temporel des horloges satellite et récepteur et nous l'appelons "pseudo-distance".

Cette mesure de pseudo-distance se fait par corrélation entre le code émis par le satellite et un code local équivalent généré dans le récepteur. Cette mesure, non ambiguë, est néanmoins bruitée (quelques mètres). On peut y associer une mesure de phase sur le signal ; cette mesure de phase est beaucoup moins bruitée (quelques millimètres) mais elle est ambiguë et la partie entière en nombre de tours de phase demeure inconnue.

Les appareils les plus perfectionnés, utilisés en navigation, associent mesure de temps et mesure de phase, réduisant ainsi considérablement le bruit sur le point obtenu.

Lorsque l'on recherche les coordonnées d'un point, quatre inconnues doivent être déterminées : latitude, longitude, altitude, décalage d'horloge. Il faut donc disposer de 4 équations, donc de 4 satellites. Dans certaines applications, l'altitude peut être connue par ailleurs ; trois satellites seront alors rigoureusement nécessaires. Il en sera de même après estimation de la vitesse d'horloge, si une horloge de très haute stabilité peut être employée.

Le système GPS peut être utilisé dans des applications différentes :

— Recherche de point isolé : dans ce cas, la précision que l'on peut atteindre actuellement est de l'ordre de 20 m à 95 %.

— Recherche de point par technique différentielle, qui consiste à bénéficier de la corrélation des erreurs du système entre deux points, l'un que l'on connaît, l'autre dont on cherche en temps réel ou en différé à déterminer la position. La précision que l'on peut atteindre est de 1 à 3 mètres sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres.

Ces deux applications sont essentiellement des applications de navigation ou de topographie grossière dans lesquelles la mesure de pseudo-distance est nécessaire.

— Opération de transfert de temps ou de synchronisation entre deux points distants de plusieurs milliers de kilomètres.

4. APPLICATIONS GEODESIQUES

Des précisions centimétriques sont alors recherchées sur des bases de quelques dizaines de kilomètres. Pour ce type d'application un traitement différé et différentiel est nécessaire. Les appareils doivent effectuer essentiellement des mesures de phases avec ou sans connais-

sance des codes, la connaissance des codes permettant d'alléger la mission et évitant l'opération préalable de synchronisation des horloges des différents récepteurs.

L'utilisation d'un tel système dans des applications de géodésie a déjà été faite. La qualité des résultats obtenus permet d'entretenir les meilleures espérances. S'il présente bien des avantages potentiels en regard des moyens déjà existants, ce système a, comme tout autre, ses contraintes administratives et limitations techniques qu'il convient d'examiner et qui doivent conduire, en toute connaissance de cause, à la préparation minutieuse d'une mission.

Contraintes administratives

L'intérêt stratégique évident du système GPS entraîne les forces Américaines à limiter l'accès au code P et à le réserver exclusivement pour des usages d'intérêt national. Rappelons que l'intérêt principal de l'usage de ce code réside dans ses propriétés d'antibrouillage et de réjection des multiples trajets.

Devant la qualité des résultats obtenus avec le seul code C/A, les US envisagent de plus une dégradation volontaire des informations transmises par les satellites, données orbitales et caractéristiques temporelles. Seules les techniques différentielles pourront, dans ce cas, compenser en grande partie ces dégradations.

D'autre part, la constellation de satellites actuellement incomplète : 7 satellites utilisables (moins deux dont l'annonce de fin de vie est déjà diffusée) et les retards apportés dans la prochaine phase de lancement des satellites font que l'utilisateur doit actuellement, jusqu'à une date mal précisée, organiser ses campagnes d'essais en fonction d'une disponibilité réduite. En France, par exemple, deux périodes de deux heures environ sur 24 heures.

Principales causes d'erreurs du système

La précision que l'on peut atteindre avec un tel système ne peut s'estimer qu'en analysant les différents facteurs qui peuvent entacher la mesure ou limiter les performances du système.

La qualité de la mesure dépend :

- de la qualité des informations transmises par les satellites dans les messages data :
 - d'une part : sur les paramètres orbitaux qui permettent de déterminer la position exacte des satellites sur leurs orbites situées à 20 000 km d'altitude,
 - d'autre part : sur les caractéristiques de l'horloge propre à chaque satellite.

Ce sont ces deux types d'informations qui, diffusés par les satellites dans les éphémérides, seront affectés par la dégradation volontaire (Selective Access).

- de la position respective de chacun des satellites mis en jeu, considérée par rapport au point d'observation. La précision la meilleure sera obtenue lorsque les satellites formeront autour du point d'observation une constellation également répartie dans toutes les directions. Le terme qui permet de qualifier la géométrie est le GDOP (Geometrical Dilution Of Precision). Ce terme sans dimension est en quelque sorte le coefficient par lequel il faut multiplier l'erreur que l'on fait sur chaque mesure supposée identique pour estimer la précision finale. Il est inversement proportionnel au volume du tétraèdre dont les sommets sont représentés par les satellites observés et le récepteur au sol.

- de la maîtrise des variations de vitesse de propagation dans le milieu traversé. L'onde radioélectrique traversant l'ionosphère subit des délais qui affectent la vitesse de phase et la vitesse de groupe d'une façon équivalente mais de signe opposé : ce délai est proportionnel à la densité électronique de la couche ionosphérique traversée et inversement proportionnel au carré de la fréquence.

La densité électronique qui représente le nombre d'électrons libres par unité de volume est une fonction de la latitude, de la période jour-nuit et de la saison : elle varie également tout au long des onze années du cycle solaire. On peut remarquer que nous sommes actuellement dans une période favorable du cycle polaire.

La figure I rappelle brièvement la constitution de l'atmosphère terrestre.

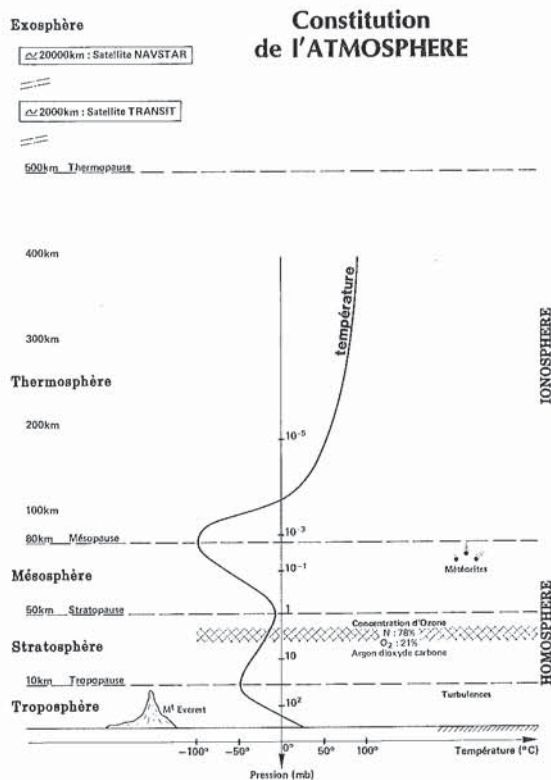


FIGURE I

La figure II représente les différentes couches ionisées de l'ionosphère.

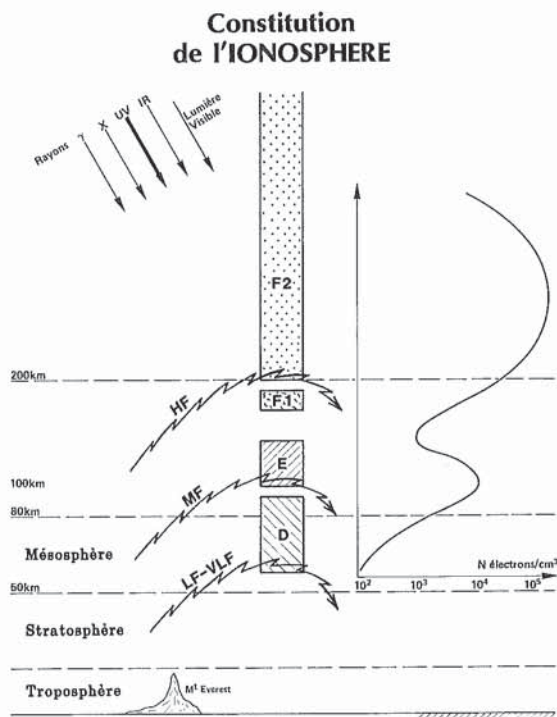


FIGURE II

La figure III schématise les variations diurnes de l'ionosphère ; ces variations dépendent aussi des saisons, des cycles solaires et des anomalies atmosphériques pendant lesquelles on peut noter que l'ionisation est d'autant plus grande que l'activité solaire est importante.

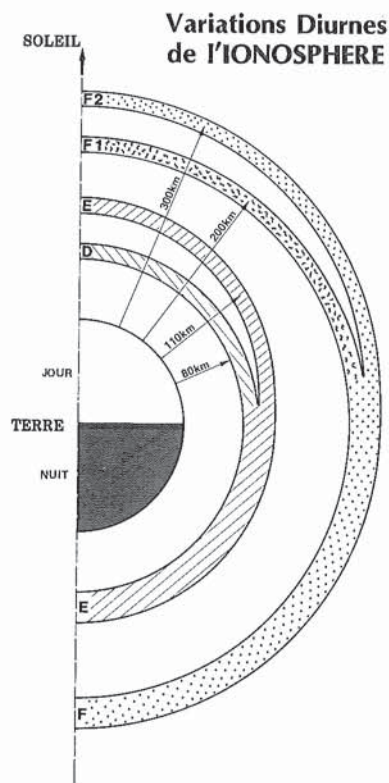


FIGURE III

Le délai ionosphérique peut être approché par un modèle mathématique qui corrige en moyenne 50 % de l'erreur mais on peut le mesurer si l'on dispose à la réception de deux fréquences.

Un autre délai correspond à la traversée de la couche troposphérique. Ce terme n'est pas mesurable directement et ne dépend que des paramètres météorologiques et de l'élévation du satellite :

$$\zeta = 7,595 \times 10^{-12} \cdot Z \left[P + \left(\frac{1255}{T} + 0,05 \right) e - \text{tg}^2 Z \right]$$

Z : élévation du satellite.

P : pression en millibars.

T : température en °K.

e : pression partielle de vapeur d'eau en millibars.

La précision dépend encore :

- des erreurs imputables au site d'observation : possibilité de réflexions et multiples trajets sur des objets ou surfaces proches ;
- enfin des erreurs instrumentales qui dépendent de la conception et de la technologie des récepteurs utilisés.

Parmi ces erreurs, on peut citer :

- inhomogénéité des retards instrumentaux internes pour les différents canaux en poursuite de satellites ;
- variation de ces retards en fonction des paramètres environnants (température, niveau de signal reçu) ;
- caractéristiques de stabilité du pilote horloge du récepteur.

L'énoncé de ces causes potentielles d'erreurs fait rapidement apparaître que la précision centimétrique que l'on cherche à obtenir ne peut être atteinte qu'avec une minu-

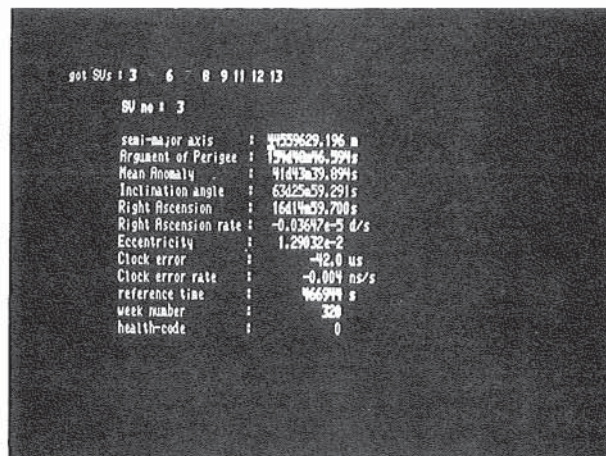
tieuse organisation dans les préparatifs et l'organisation des mesures.

Organisation d'une mission

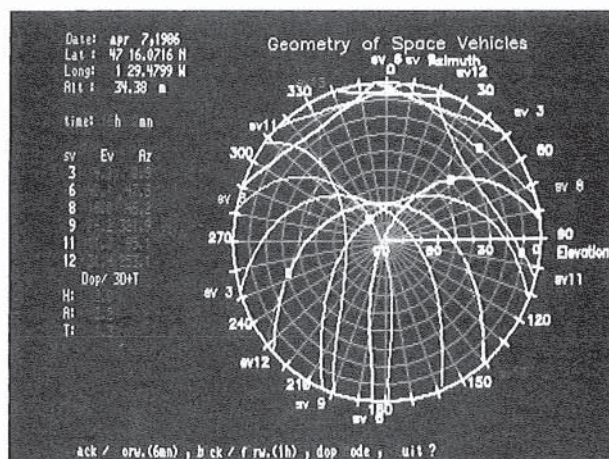
Préparation

Avant tout travail, il convient de s'assurer de la visibilité des satellites en nombre et en durée et sous une géométrie convenable. Par l'intermédiaire de logiciels, dits "de prédictions de passage", implantés sur des calculateurs de bureau ou directement dans les récepteurs eux-mêmes, le travail de préparation consiste à vérifier pour un lieu donné, sur une période de 24 heures, quelles seront les courbes d'élévation des satellites disponibles. Sur ces courbes on pourra lire l'heure de lever et de coucher de chaque satellite, l'élévation et l'azimut sous lesquels seront vus ces satellites.

Une première sélection permettra de vérifier pour les sites et pour les tranches horaires retenues, quels seront les GDOP. Un travail correct pourra être envisagé dès que le GDOP < 6. Remarquons toutefois que les courbes GDOP varient extrêmement vite et qu'une élévation minimum des satellites de 5 à 10° est souhaitable (voir exemple figure IV).



Exemple d'almanach d'un satellite



Représentation polaire des orbites des satellites

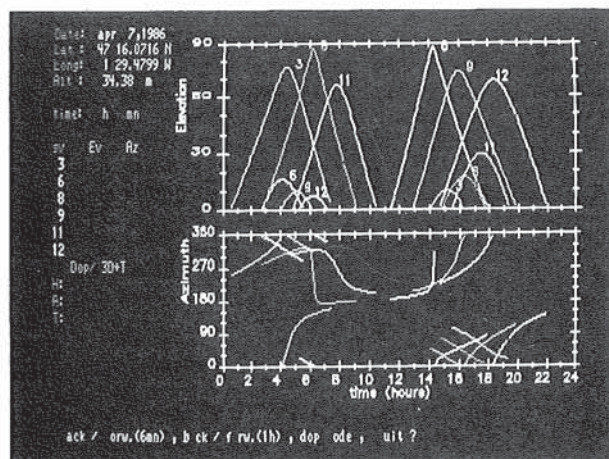
FIGURE IV/a

Reconnaissance des sites

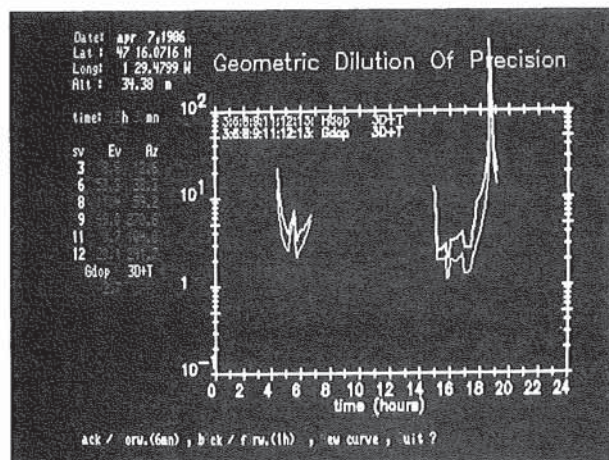
La plupart des opérations de géodésie se font à partir de plusieurs récepteurs recevant simultanément plusieurs

satellites (méthodes de traitement par double ou triple différences). A ce titre, il est important de vérifier que, pour la constellation choisie, aucun masque important ne viendra occulter les satellites trackés sur les sites choisis (accidents naturels ou artificiels dans la zone de visibilité). Ceci est particulièrement important pour les satellites vus sous des sites bas.

L'accessibilité au site d'observation et les conditions de bonne installation d'antenne seront vérifiées durant cette phase. Cette analyse conduira peut-être à envisager la surélévation de l'antenne au-dessus du tripode normalement utilisé.



Représentation cartésienne. Elévation azimut des satellites disponibles.



Exemple de GDOD pour un lieu et une date donnés.

FIGURE IV/b

Exécution de la mission

L'exécution de la mission se déroule théoriquement en trois phases : la phase d'observation proprement dite, précédée et suivie de deux phases : l'une dite d'étalonnage, l'autre de vérification.

a) Pré-observation ou étalonnage

Suivant le type de récepteur utilisé, appareil utilisant la phase uniquement ou appareil utilisant le code et la phase, le type de préparation sera différent.

Pour les appareils mesurant uniquement la phase, appareils "codeless", il est nécessaire que l'horloge pilote de ces récepteurs soit correctement synchronisée à quelques millisecondes près sur le temps GPS lui-même rattaché au temps UTC. Cette synchronisation peut se faire

à l'aide d'un récepteur GPS transfert de temps qui acquiert l'information du temps GPS en provenance des satellites ou en utilisant tout autre mode de transfert de temps (horloge atomique ou transfert par transmissions radioélectriques).

Les appareils poursuivant le code et la phase du signal GPS ne nécessitent pas cette synchronisation préalable puisqu'ils sont capables de se caler sur le temps GPS reçu des satellites.

Pour les appareils à structure parallèle les plus précis, il est recommandé de procéder à une mesure dite "de calibration". Cette mesure consiste à sélectionner pendant une dizaine de minutes un même satellite sur les différentes voies indépendantes du récepteur et de mesurer l'écart différentiel sur la mesure de code et sur la mesure de phase par rapport à une voie prise comme référence. De cette mesure, on extrait le retard différentiel entre voies dont on tiendra compte par la suite lors du dépouillement des mesures.

Outre ces préparatifs, il y a lieu, pendant cette période de pré-observation, de s'assurer que l'installation antenne est correctement effectuée : antenne suffisamment dégagée, pas d'obstacles avoisinants favorisant les effets de multiples trajets ou de réflexion. En tout état de cause, il sera souhaitable d'utiliser sous l'antenne un plan absorbant évitant les interférences radioélectriques pouvant être produites par les ondes réfléchies et arrivant par sites rasants ou négatifs.

Cette phase de pré-observation se termine par le chargement de la configuration de satellites à poursuivre suivant le plan initial préparé. Nombre et numéro des satellites à poursuivre, heure de début d'enregistrement, heure de fin d'enregistrement, mise en route des périphériques d'enregistrement et vérification de leur fonctionnement. Marquage de début de fichier sur les débuts d'enregistrements éventuellement relevés des paramètres météo.

b) Observation proprement dite

Débutant à l'heure préchargée dans le récepteur, l'observation dure environ une heure pour une précision recherchée de 1 ppm. L'enregistrement est automatique ; l'opérateur peut néanmoins exercer une surveillance sur la bonne exécution du travail en observant :

- le niveau de signal reçu de chaque satellite,
- le rapport signal/bruit, c'est-à-dire la qualité de la réception,
- l'état ou le "status" de chacune des voies de traitement ainsi que la mesure effectuée.

Suivant la robustesse de l'appareillage utilisé, gamme de température, étanchéité, les précautions élémentaires tenant compte des intempéries devront être prises.

c) Post-observations

Les opérations de post-observations consistent essentiellement en une vérification. Pour les récepteurs "codeless" ne travaillant que sur la phase, il est important de vérifier le drift (pente) d'horloge de chacun des récepteurs.

Pour les récepteurs incorporant la mesure de code et à structure parallèle, dans le cas où de très hautes précisions sont recherchées, il peut être utile de refaire une calibration en fin de mission, afin de maîtriser l'éventuelle dérive de calibration.

De toute façon, la vérification du bon enregistrement sur support doit être effectuée avant de quitter le site de mesure. Trop souvent, en effet, une opération s'étant déroulée correctement montre, lors des dépouillements, que les informations enregistrées sont difficiles à relire. On peut voir dans ce fait la moins bonne tenue des périphériques d'enregistrement sur support magnétique aux conditions d'environnement, vibrations, température.

Post-calculs

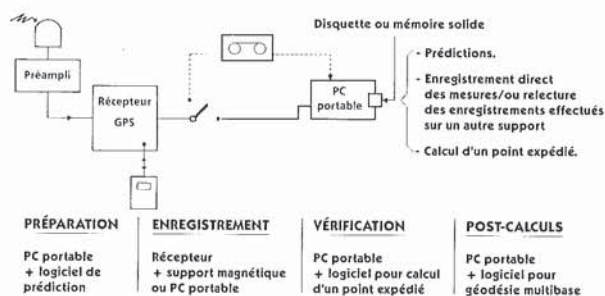
Ayant pris les précautions nécessaires lors des phases précédentes pour s'assurer de la qualité des mesures effectuées, reste à maîtriser les erreurs propres au système et essentiellement dépendantes du message des éphémérides transmis par les satellites eux-mêmes et les erreurs dues à la propagation et aux incertitudes d'horloge. C'est essentiellement dans les méthodes de dépouillement et d'analyse en différé des mesures enregistrées que ces erreurs seront réduites.

Par des méthodes de simples, doubles ou triples différences, il est possible d'éliminer respectivement les biais du satellite, du récepteur et les inconnues de phase initiale.

Plusieurs organismes prévoient déjà d'organiser des réseaux orbitographiques qui permettront, à partir de stations fixes implantées à terre, de calculer avec grande précision la trajectoire exacte des satellites et d'établir des modèles d'ionosphères régionaux et du gradient de leur erreur. De telles implantations permettront d'améliorer les précisions que l'on peut atteindre sur de grandes distances et de faire face efficacement, pour les applications de géodésie, aux dégradations volontaires qui sont annoncées.

Les récepteurs actuellement disponibles sur le marché, destinés aux applications géodésiques, permettent, pour certains, de réaliser l'ensemble des fonctions énoncées.

5. SYNOPTIQUE FONCTIONNEL D'UN APPAREIL POUR GEODESIE



Synoptique des opérations concernant une mission.
FIGURE V

L'un de ces récepteurs, de conception et de fabrication françaises, déjà utilisé par l'IGN et d'autres organismes, présente les fonctionnalités suivantes :

- un récepteur capable de poursuivre simultanément 5 satellites à la cadence d'acquisition de 0,6 s ;
- récepteur travaillant sur la fréquence L1 code C/A :
 - mesure de temps et de phase
 - résolution de la mesure sur le code : 12 cm
 - résolution de la mesure sur la phase : 1,5 mm ;
- enregistrement des mesures sur support magnétique avec décodage des éphémérides et possibilités de compactage ;
- possibilités de connecter un microcalculateur, type PC portable, pour réaliser l'enregistrement directement sur disquette 3 pouces et demi ;
- logiciels disponibles compatibles PC :
 - prédictions et GDOP
 - contrôle et vérification des enregistrements
 - calcul d'un point expédié mono site ;
- logiciel en cours de mise au point :
 - calcul géodésique multi-base (simple et double différences). Voir figure V.

6. CONCLUSION

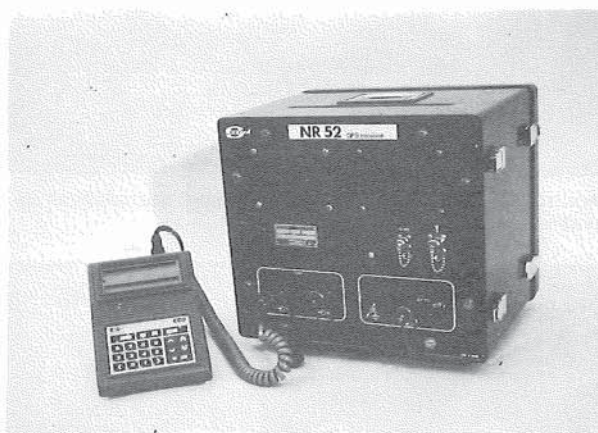
En terminant cette courte présentation, je voudrais rele-

ver quelques évidences et souligner les tendances qui font que ce nouveau système ne peut être seulement pour vous "curiosité scientifique" mais doit déjà faire l'objet d'un examen attentif.

À l'évidence, le système GPS extrêmement prometteur par les résultats déjà obtenus n'a encore été utilisé dans votre profession que par des instituts ou organismes professionnels dont la vocation est d'être à l'avant-garde des techniques et des moyens disponibles.

Certes, l'utilisation d'un tel système, dont on évalue encore les possibilités, est d'abord faite par des scientifiques plus soucieux de la performance ultime que des aspects pratiques et journaliers.

Mais cette réalité n'est que transitoire. Nul doute que GPS aura une place de choix dans les applications courantes de topographie, dès que le système sera parvenu à maturité. Nul doute que les hommes de terrain trouveront sans tarder, avec la complicité technologique des industriels, des appareils dont le coût et la simplicité d'exploitation s'annoncent déjà être au niveau des outils actuellement en service, que les topographes utilisent couramment dans leur travail quotidien.



Récepteur GPS SERCEL
FIGURE VI

REFERENCES

- Le système Navstar/GPS et ses applications géodésiques. Numéro spécial GPS Navigation n° 129. - C. Boucher.
- US Navy activities in marine geodesy - J.B. Mooney (US N).
- Precise measurement with GPS - Jorgensen - Plan's 84.
- Applications de Navstar à la topographie - G. Nard (Sercel) 1984.
- Use of the TR5S-B GPS receiver in airborne photography surveys. R. Brossier (IGN) - G. Nard, J. Rabian, R. Gounon (Sercel).
- Application of Navstar GPS Geodetic receiver to geodesy and geophysics. R. Anderle (Naval Surface Weapons Center).
- The IGN geodetic software system for GPS data analysis 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning Austin.
- Comparison between terrameter and GPS results. G. Beutler - Astronomical Institute - University of Berne.
- Surveying with GPS. - RW King Eg Masters C Rizos - A. Stolz. University of New South Wales (Australia).