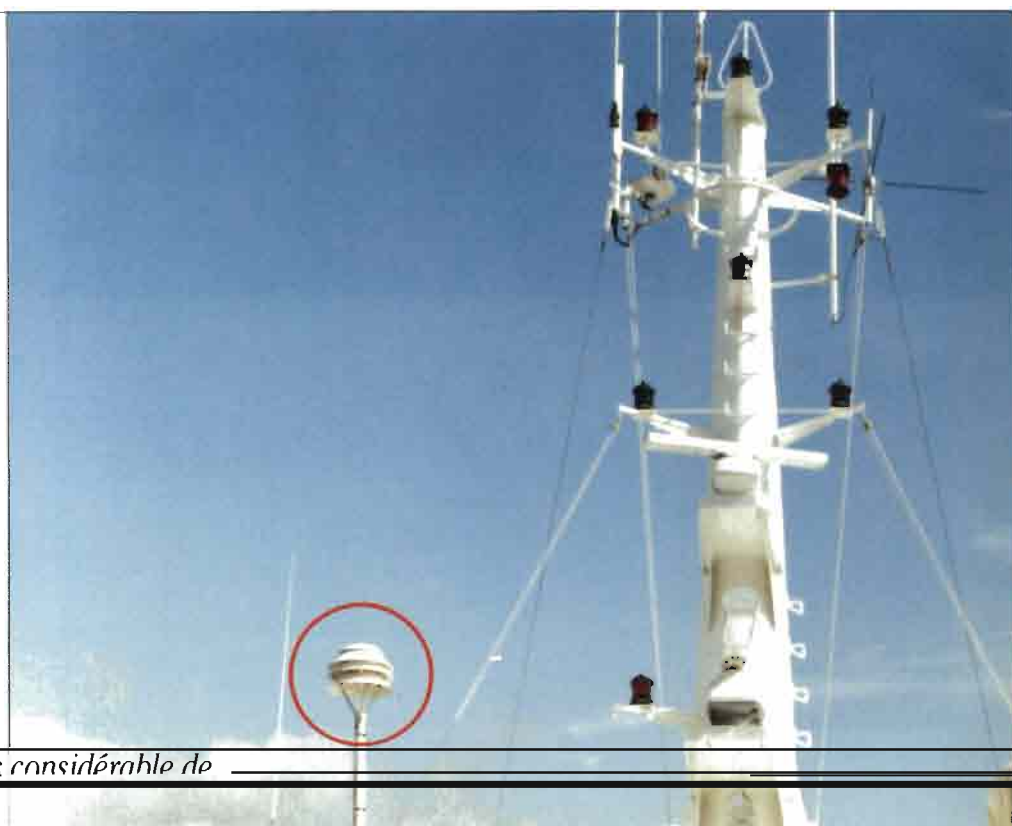


DU SEXTANT AU SATELLITE

LE SYSTEME GPS,
UN OUTIL
AU SERVICE DE
LA RECHERCHE

*L'évolution des techniques
de positionnement (longitude,
latitude, altitude) par satellite du-
rant la dernière décennie.*

explique le succès considérable de





*Station GPS (ASHTACH M XII) installée dans la région de Djibouti lors d'une campagne de géodésie spatiale.
Campagne IPG "Djibouti-Afar", novembre 1991 - Photo : J.C. Ruegg/IPG-CNRS*

identifier le satellite émetteur et à me-
surer sa distance au récepteur. Le code

LE SEGMENT UTILISATEUR

d'au moins trois satellites reçus simul-

Les récepteurs

Il en existe trois types principaux :

1) Les récepteurs monofréquence mesurant le temps du trajet (donc les pseudo-distances) sur la fréquence L1. Ces instruments sont utilisés pour la navigation ou le positionnement instantané expédié (précision 30 m environ).

2) Les récepteurs monofréquence mesurant pseudo-distance et phase sur la fréquence L1, utilisés en navigation et positionnement différentiel de moyenne précision.

3) Les récepteurs bifréquence pouvant recevoir les fréquences L1 et L2. Ces récepteurs sont utilisés pour le positionnement différentiel de qualité géodésique, car ils permettent d'estimer les retards de propagation liés à l'ionosphère. Une version recevant le code P permet en outre un positionnement absolu plus précis (quelques mètres) et d'utiliser les données recueillies pour le recalcul d'orbites précises. Ces instruments sont utilisés en géodésie à l'échelle globale ou régionale et permettent une précision subcentimétrique sur des lignes de base longues (100-1000 km).

Compte-tenu de la fréquence élevée des signaux, la propagation est interrompue par tout obstacle situé entre le satellite et le récepteur ; ce dernier doit alors être placé dans un endroit dégagé, suffisamment éloigné de masques naturels ou artificiels pouvant gêner la réception (montagnes, forêts, constructions...). Les récepteurs sont donc munis d'une antenne externe omnidirectionnelle qui peut être mise en station sur un trépied de théodolite ou à l'extrémité d'un mât. Pour un positionnement de haute précision, des règles graduées permettent de mesurer au millimètre près la position de l'antenne par rapport au repère fixe à positionner.

Certains petits récepteurs monofréquence possèdent également une antenne interne pour un positionnement rapide de moyenne précision. L'acquisition des données provenant de plusieurs satellites se fait de façon simultanée (récepteurs multicanaux) ou séquentielle (récepteur monocanal multiplexé).

Les prix

L'accès au système de positionnement est libre à tout possesseur d'un récepteur GPS et il n'existe actuellement aucun droit payant d'utilisation. Plusieurs constructeurs proposent aujourd'hui une grande variété de récepteurs (ASHTECH, MAGELLAN, MAGNAVOX, SERCEL, SONY, TRIMBLE, WILD-LEICA...) qui, dans une gamme de précision donnée, présentent diverses options (nombre de canaux d'acquisition, capacité de stockage des données, liaison série avec ordinateur compatible...). Les prix, programmes de traitement inclus, varient d'environ 15 KF pour un récepteur monofréquence (type MAGELLAN Nav 1000) à 400 KF pour un récepteur bifréquence de haute précision (type ASHTECH MD-XII). Notons toutefois que dans la gamme des récepteurs monofréquence, les prix baissent rapidement et qu'à la suite du constructeur SONY, d'autres constructeurs devraient commercialiser des récepteurs à moins de 10 KF en 1992.

La précision des mesures

La précision d'une mesure GPS est qualifiée par un coefficient appelé GDOP (Geometric Dilution of Precision) qui exprime l'erreur dérivant de la position relative des satellites entre eux (la meilleure géométrie correspond au plus grand volume du polyèdre formé par les satellites et le récepteur). Ce coefficient devant être le plus faible possible, des mesures ayant pour GDOP des valeurs inférieures à 4 sont considérées comme bonnes et celles ayant des valeurs supérieures à 10 doivent être rejetées. Pour minimiser le GDOP, il est possible de sélectionner sur tout récepteur les satellites qui conduisent à une géométrie de constellation optimale. L'utilisateur dispose en effet d'éphémérides transmis par le segment de contrôle via les satellites, qui lui donnent en un lieu et à un instant donnés une information sur chaque satellite du système (fenêtre de passage, azimuth, élévation, état d'émission...). Le choix du matériel et le mode de mesure dépendront ensuite de la précision recherchée. Les précisions citées ici sont données par les constructeurs dans les

conditions actuelles d'utilisation du système GPS et sous réserve de non dégradation par la Défense américaine (dégradation qui réduirait environ d'un facteur 3 à 10 la précision actuelle). On peut néanmoins espérer que le nombre toujours croissant des applications scientifiques et commerciales dont certaines de grand public (navigation de plaisance en voile, U.L.M...) constituent un poids suffisant, vis à vis des autorités militaires américaines, pour maintenir le système accessible, au moins dans son état actuel, pour plusieurs années.

Les mesures de moyenne précision.

Les mesures de pseudo-distances avec un récepteur monofréquence fournissent en temps réel une précision sur les coordonnées horizontales d'environ 30 mètres en 3D et 25 mètres en 2D (altitude fixée). Pour un temps d'observation plus long (dizaine de minutes), la précision peut être améliorée de 5 à 10 mètres, par moyenne des données reçues. En mode différentiel, deux récepteurs peuvent être positionnés jusqu'à 1 ou 2 mètres près.

Les mesures de haute précision.

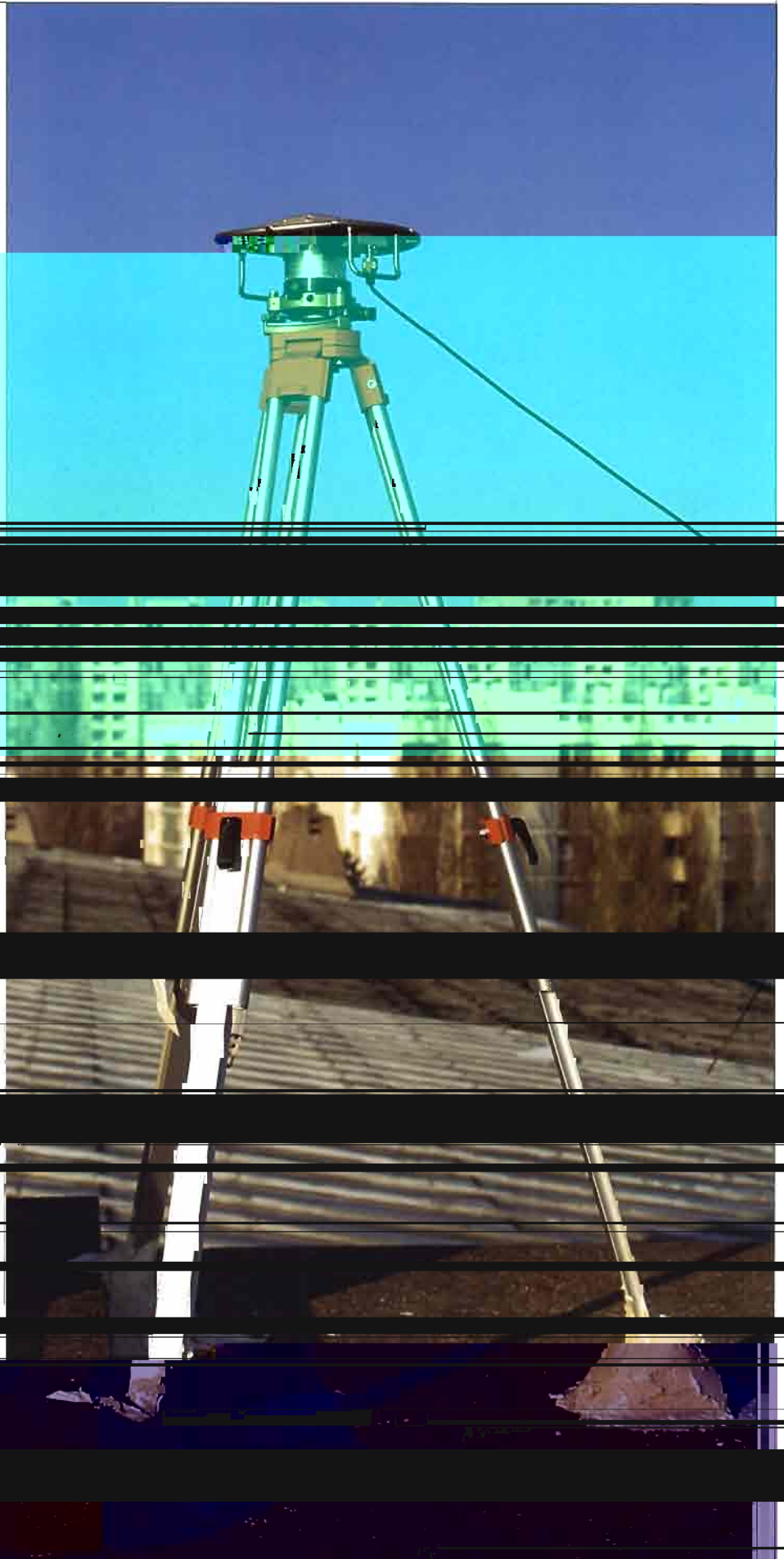
Elles sont effectuées à l'aide de plusieurs récepteurs (de préférence bifréquence) placés en observation simultanée pendant plusieurs jours, pour affranchir autant que possible les mesures de l'influence des variations de propagation des signaux (mesures de pseudo-distances et phases en mode différentiel). Des récepteurs monofréquence équipés d'horloges très précises peuvent être utilisés sur des bases horizontales courtes (inférieures à 10 km) pour lesquelles les corrections ionosphériques et atmosphériques sont négligeables. Les données sont alors transférées sur ordinateur pour être traitées ultérieurement. Pour augmenter la précision, on peut introduire des contraintes supplémentaires en installant par exemple un ou plusieurs récepteurs sur des points de coordonnées connues ou en prenant en compte des données météorologiques et ionosphériques pour affiner les modèles de propagation.

Il est alors possible d'atteindre des précisions relatives de 10^{-6} à 10^{-7} , soit de l'ordre de 1 cm sur des bases horizontales de 10 km à plus de 100 km.

teur et du mode d'observation, il est possible de minimiser cette erreur et donc d'améliorer la qualité du positionnement. Pour les applications de haute précision, il est nécessaire de mesurer également la phase des signaux, à l'aide de plusieurs récepteurs placés en observation simultanée (mesures en mode différentiel).

LES PRINCIPAUX FACTEURS D'ERREUR

Plusieurs facteurs indépendants peuvent influencer sur la qualité d'une mesure à un moment et en un lieu donnés :
Les irrégularités de propagation des ondes - La propagation des signaux entre le satellite et le récepteur est perturbée par la présence d'une ionosphère fortement dispersive ($\approx 50 \text{ ns}$



réfléchi, vont perturber les mesures de pseudo-distance et de phase. Ces arrivées secondaires sont en partie éliminées, soit directement sur l'antenne, soit par le calcul. Les données provenant de satellites de faible élévation, fortement affectées par ce phénomène, doivent aussi être rejetées.

L'erreur sur la position des satellites - Le principe de la mesure GPS suppose une bonne connaissance de la position des satellites à tout instant. Cette position est déterminée à partir des distances mesurées à des points connus (stations fixes du segment de contrôle) et transmise, avec d'autres données d'orbite également réactualisées, à tout récepteur GPS. Pour obtenir une précision de 1 ppm, on peut en général se contenter des orbites radio-diffusées.

LES APPLICATIONS DU GPS À L'ORSTOM

Le positionnement de stations de mesures géophysiques

Depuis 1986, des géophysiciens de l'UR "Lithosphère continentale" utilisent le système GPS (récepteurs monofréquence) pour positionner avec une précision de quelques dizaines de mètres, des stations de mesures gravimétriques ou sismologiques dans des régions où les méthodes classiques de la topométrie ne peuvent être utilisées : par exemple en Afrique de l'Ouest lors du complément de la couverture gravimétrique réalisée avec l'IGN ou plus récemment sur des volcans d'Indonésie (Krakatau) et d'Amérique centrale (Masaya). Pour la détermination des altitudes de station, la résolution des récepteurs utilisés est insuffisante pour les corrections gravimétriques qui exigent une précision du mètre en gravimétrie de reconnaissance et du centimètre en microgravimétrie; des méthodes complémentaires de nivellement doivent donc être utilisées.

Les bateaux de l'Orstom

Le GPS est aussi utilisé, depuis plusieurs années, comme système de navigation sur les navires océanographiques de l'Orstom (Nizery et Alis). Les possibilités de positionnement qu'offrent ce système, hors de tout repère côtier distinct au radar ou à la gonio, ont contribué à améliorer la sûreté des travaux menés en mer. En effet, outre l'aide à la navigation, le GPS permet aux navires de localiser précisément des lignes de mouillage de subsurface et donc de re-

plus pratique que son ancêtre le sextant, le GPS semble devoir lui succéder sur les passerelles des navires et notamment sur celles des navires de l'Orstom.

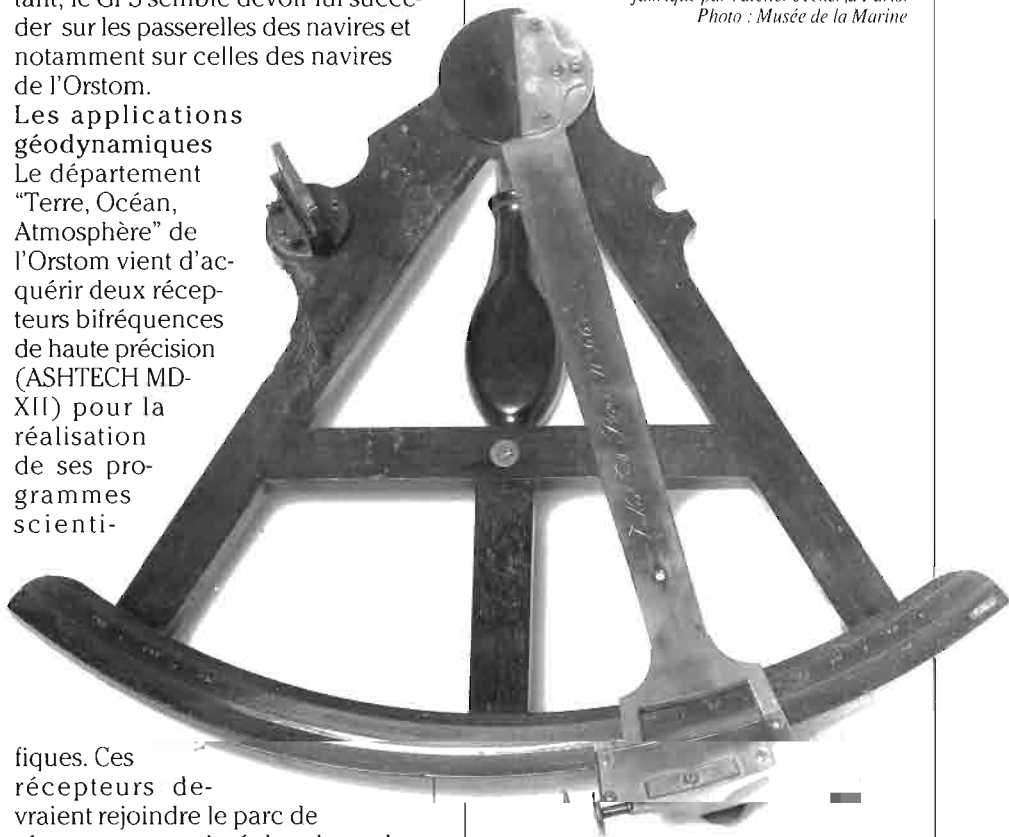
Les applications géodynamiques

Le département "Terre, Océan, Atmosphère" de l'Orstom vient d'acquiescer deux récepteurs bifréquences de haute précision (ASHTECH MD-XII) pour la réalisation de ses programmes scienti-

ifiques. Ces récepteurs devraient rejoindre le parc de récepteurs constitué depuis quelques années par l'INSU pour être mis, en plus grand nombre, à la disposition d'équipes scientifiques (cf. programme TECTOSCOPE-POSITIONNEMENT). D'autres organismes (IGN, IPG Paris, CEA, laboratoires universitaires...), dont certains pourraient être associés au parc INSU, possèdent des appareils équivalents qui ont déjà été utilisés pour des applications géodésiques et géodynamiques.

Durant le mois de novembre 1991 a eu lieu une importante expérience regroupant 14 récepteurs GPS placés en une quarantaine de stations, dans la région de Djibouti. L'objectif était de mesurer avec une précision de 10^{-7} , le taux d'expansion de part et d'autre d'un rift où des vitesses de 60 mm/an et des mouvements verticaux de plusieurs centimètres ont été mis en évidence par d'autres mesures géodésiques de 1978 à 1987. Le premier récepteur livré à l'Orstom a donc été mis en station sur le toit du centre de Bondy, à l'aplomb du laboratoire de géophysique, dans le but de constituer une station fiduciale supplémentaire utilisée pour les corrections d'orbite lors de cette opération. Il s'agissait en outre de tes-

Sextant (circa 1795).
fabriqué par l'atelier Jecker à Paris.
Photo : Musée de la Marine



Pour en savoir plus

Boucher C. et Willis P., 1986 - Le GPS et son impact en géodésie, topométrie et cartographie. Rencontres A.F.T.86 Cachan, Revue "XYZ", n°29. Le système NAVSTAR-GPS. Revue "Toute l'Electronique", n° 511 et 512, Fév.- Mars 1986.

Guide to GPS positioning, 1986 - Well et al, Ed. Canadian GPS Associate, Fredericton, New Brunswick.

Dixon T.H., 1991 - An introduction to the Global Positioning System and some geological applications. Review of Geophysics, 29, 2, pp. 249-276.

Davis J.L., Prescott W.H., Svarc J.L., Wendt K.J., 1989 - Assessment of GPS Measurements For Studies of Crustal Deformation. Journal of Geophys. Res., vol. 94, n°B10, pp. 13635-13650.

Ruegg J.C., Briole P., Feigl K.L.,



Station GPS (ASHTech M XII) installée dans la région de Djibouti lors d'une campagne de géodésie spatiale. Campagne IPG "Djibouti-Afar", novembre 1991 - Photo : J.C. Ruegg/IPG-CNRS

de géodynamique des U.R. "Lithosphère océanique" et "Lithosphère continentale". Il s'agit de mesurer à intervalles de quelques mois ou de quelques années les mouvements relatifs de certaines plaques tectoniques. Les cibles choisies sont le Sud-Ouest Pacifique où ces mouvements sont supposés être parmi les plus rapides du monde, soit environ 18 cm par an et le Nord Chili où sont étudiées les déformations dans une zone de lacune sismique qui pourrait être le

et gestion des ressources en eau").

Le temps GPS

Les satellites du système GPS étant équipés d'horloges d'une grande stabilité (environ 1sec/300.000 ans), il est possible de synchroniser à distance, en quelques minutes, avec une précision de 10 à 100 nsec des récepteurs GPS. Cette application intéresse la sismologie d'observatoire et de terrain pour le remplacement des horloges synchronisées actuellement sur des émetteurs ra-

transportables (quelques centaines de grammes pour certains modèles monofréquence) et plus simples à mettre en oeuvre. Si le positionnement GPS de haute précision, utilise des récepteurs bifréquence encore coûteux, les performances et le prix en baisse des récepteurs monofréquence rendent le système GPS à la portée de tous dans les domaines du positionnement de moyenne précision et de la mesure du temps. Le GPS a déjà séduit d'autres dis-

Bonvalot Sylvain, Albouy Yves

Du sextant au satellite

ORSTOM Actualités, 1992, (36), p. 2-8. ISSN 0758-833X