

# XYZ Association Française de Topographie



*La Vallée de la mort. USA.*

**RENCONTRE AFT 1988 - PARIS**  
**“UTILISATION ET EVOLUTION DES TECHNIQUES**  
**SPATIALES DE POSITIONNEMENT” - GPS NAVSTAR**

# LA FIABILITÉ ET LA RAPIDITÉ NIKON AU PRIX DU TACHÉOMETRE DE PAPA

*À LA FOIS THÉODOLITE ET TÉLÉMETRE, LA NOUVELLE STATION TOTALE DTM-20 A ÉTÉ CONÇUE PAR NIKON POUR LES GÉOMÈTRES ET POUR LES CHANTIERS DE TRAVAUX PUBLICS.*

*LA PRÉCISION DE LECTURE ANGULAIRE EST DE 2 MILLIGRADES ; LA PORTÉE, AVEC UN PRISME, EST DE 1.100 M.*

*ROBUSTE, ÉTANCHE À LA POUSSIERE ET À L'HUMIDITÉ, LA DTM-20 EST D'UNE UTILISATION TRÈS SIMPLE : SI ON SAIT LIRE, ON SAIT S'EN SERVIR.*

*COMME LES DTM-1 ET DTM-5, LA NIKON DTM-20 PEUT ÊTRE COUPLÉE AVEC L'ENREGISTREUR DE MESURES PROGRAMMABLE DR-2. ELLE TRAVAILLE ALORS PRATIQUEMENT TOUTE SEULE ; LES MESURES, ENREGISTRÉES SUR UNE CARTOUCHE INTERCHANGEABLE, SONT EXPLOITABLES SUR UNE IMPRIMANTE, UNE TABLE TRAÇANTE OU UN ORDINATEUR.*

*LA STATION TOTALE OPTOÉLECTRONIQUE NIKON DTM-20 EST VENDUE AU MEME PRIX QU'UN TACHÉOMETRE AUTORÉDUCTEUR OPTIQUE. ENTRE LES DEUX, LE CHOIX EST VITE FAIT...*

*POUR ASSISTER À UNE PRÉSENTATION OU RECEVOIR UNE DOCUMENTATION SUR LA NIKON DTM-20 IL VOUS SUFFIT DE NOUS RENVOYER LE BON CI-DESSOUS OU DE PRENDRE CONTACT AVEC NIKON-FRANCE S.A. BP 33 94222 CHARENTON-LE-PONT CÉDEX.*

*TÉLÉPHONE (1) 43 75 97 55 - TÉLÉX 262 546 F - TÉLÉCOPIE (1) 43 78 53 97*

Nikon France S.A.  
BP 33 94222 Charenton-Le-Pont Cedex

Nom \_\_\_\_\_  
Prénom \_\_\_\_\_  
Fonction \_\_\_\_\_  
Entreprise \_\_\_\_\_  
Adresse \_\_\_\_\_  
Tél \_\_\_\_\_

Sans aucun engagement de ma part,  
adressez-moi votre documentation sur  
la Station Totale Nikon DTM-20.



STATION TOTALE NIKON DTM-20

**Nikon**  
LES YEUX DU FUTUR

## COUVERTURE



### Photo couverture : "Vallée de la mort", GPS Trimble 4000SL en opération.

Leaders de la Technologie et du radiopositionnement, CRM et Trimble ont conclu des accords de Transfert de Technologie (fabrication s/licence). CRM, 30 agences en France, 3 agences en Afrique est depuis le mois de mars 1988 l'Importateur exclusif Trimble. Nous voyons ici un GPS 4000SL dans la "Vallée de la mort". Les contraintes sont extrêmes : température = + de 105° - hygrométrie = - de 5 % - poussières et vents.

Les déplacements se font par routes et pistes, ce qui augmente la dureté de l'environnement. Ce GPS ne nécessite aucun matériel informatique, il possède une capacité mémoire de 1 MEGA/oct. de RAM statique, permettant tous les traitements nécessaires.

Compagnie Radio-Maritime CRM, 4, route Principale du Port - BP 71, 92233 Gennevilliers. Tél. : (33-1) 40.85.06.02.

### INFOS

Rendez-vous à CANNES les 21 et 22 octobre 1988, pour le prochain colloque AFT.

Pour répondre à la demande de nos lecteurs, nous vous indiquons les dates des prochaines parutions d'XYZ : n° 37, octobre 1988 ; n° 38, janvier 1989 ; n° 39, avril 1989.

### TRIMESTRIEL

Le numéro : 100 F  
L'abonnement d'un an  
(4 numéros) : 390 F

Secrétariat de l'AFT  
et Rédaction XYZ

**140, rue de Grenelle,  
75700 PARIS  
Tél. : (1) 45.50.34.95  
poste 660**

Ouverts les mardi et vendredi  
de 10 h à 12 h

### COMITE DE REDACTION

#### RAPPORTEUR

André BAILLY  
Ingénieur ETP

#### MEMBRES

Jean COMBE  
Ingénieur ESGT  
Guy DUCHER  
Ingénieur Général Géographe  
Jean-Jacques LEVALLOIS  
Ingénieur Général Géographe  
Jean PUYCOUYOUL  
Ingénieur E.P.  
Michel SAUTREAU  
Directeur divisionnaire honoraire  
du Cadastre  
Roger SCHAFFNER  
Géomètre DPLG  
Bernard SCHRUMPF  
Ingénieur Général  
de l'Armement  
Robert VINCENT  
Ingénieur E.C.P.

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

André BAILLY

### IMPRIMERIE MODERNE

U.S.H.A.  
AURILLAC 15001  
Tél. : 71.63.44.60

L'Association Française de Topographie n'est pas responsable des opinions émises dans les conférences qu'elle organise ou dans les articles qu'elle publie.

Tous droits de reproduction ou d'adaptation sont strictement réservés.

## sommaire

- Rencontre AFT 1988. Utilisation et évolution des techniques spatiales de positionnement GPS Navstar

\* \* \*

- Editorial, par A. FONTAINE, ingénieur général géographe 3
- Le système GPS et son impact sur les travaux topographiques, par C. BOUCHER et P. WILLIS (IGN) ..... 5
- Evolution des techniques spatiales dans le domaine de la navigation, par M. LE GOUIC (SHOM) ..... 15
- Le système de radionavigation "GPS-Navstar", par N. DE CHEZELLES (ICA) ..... 29
- SPOT, par J.-P. LE GORGEU (SPOT IMAGE) ..... 37

- Les constructeurs vous parlent... nouveautés ..... 43
- Actualités AFT, une idée qui fait son chemin, le BTS.TOPO ..... 45
- La vie de l'association ..... 47
- Bibliographie, offres et emplois ..... 52
- Répertoire annonceurs ..... 48



**EQUIMAT**  
*international*

**4 FAÇON DE DIRE  
OUI A L'AVENIR  
AVEC LES  
4 STATIONS TOTALES  
SOKKISHA  
N° 1 AU JAPON**

**DEMANDER**

*Documentation et Démonstration*

**PROFITER**

*Prix SOKKISHA très compétitifs  
Performances de nos carnets  
de terrain  
SAV*

**JOUER LA CARTE SECURITE**

**PROMOTION**

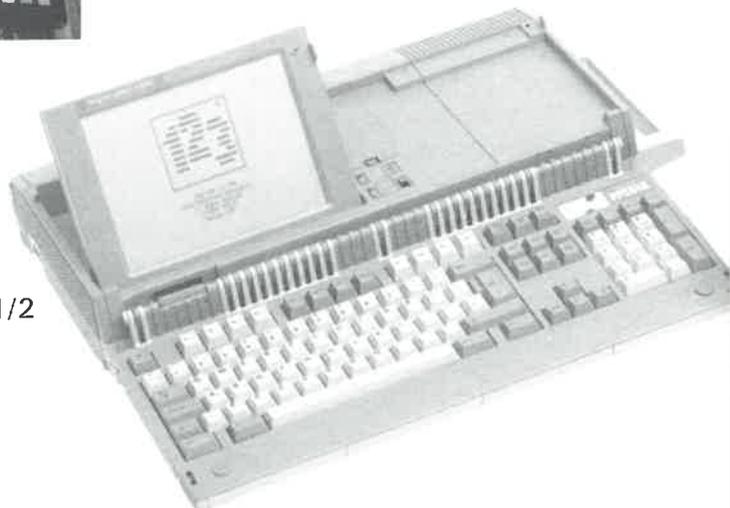
**Avec l'achat de chaque station un ordinateur portable gratuit : valable jusqu'au 15.11.1988**

**...UNE SOLUTION ATTENDUE  
POUR LA SAUVEGARDE  
DE VOS DONNÉES...**

- Sauvegarde de vos données sur disquette 3 pouces 1/2
- Sortie série
- Batterie incorporée
- 512 K de RAM

**EQUIMAT INTERNATIONAL**

16, avenue de la République - 78600 MESNIL LE ROI



**(1) 39 62 35 28 +**



## Rencontre AFT EDITORIAL Jeudi 17 et vendredi 18 mars 1988

**“Utilisation et évolution des techniques spatiales de positionnement” - GPS Navstar**  
Centre de Conférences Panthéon, 75005 Paris

par  
André FONTAINE

Ingénieur Général  
Géographe

**T**rès honoré d'avoir à conclure ces deux journées ; je dois avouer avoir peu pratiqué la topographie au cours d'une carrière consacrée essentiellement à la géodésie. Après avoir suivi les cours de Monsieur d'Hollander, j'ai effectué un stage de six mois de lever à la planchette dans le midi de la France. J'en garde un excellent souvenir, le métier de topographe offrant une très large ouverture sur le réel et sur la vie.

Les quatre conférences que nous avons entendues m'ont paru particulièrement intéressantes et je pense que les auditeurs présents ont vivement apprécié la clarté des exposés. En votre nom à tous, j'en remercie les présentateurs ainsi que les responsables de l'AFT qui ont organisé ces réunions.

*Je ne conclurai pas, je ferai simplement deux remarques :*

— *Les quatre sujets traités étaient résolument tournés vers l'avenir, ce qui prouve la vitalité de la topographie et la jeunesse de l'AFT. On pourrait s'étonner qu'une activité qui a pour objet la description et la mesure de la surface terrestre donne lieu à des journées uniquement consacrées au ciel. Comme quoi, l'homme, même lorsqu'il s'aventure à lancer des satellites, est bien obligé de prendre appui sur sa bonne planète Terre, à la connaissance de laquelle ces nouveaux astres apportent en retour leur contribution.*

— *Le problème de la localisation a été au centre de ces journées ; le premier conférencier, à propos des satellites Spot, a lui aussi évoqué ce problème en parlant de l'embarquement sur Spot 2 du système Doris chargé de déterminer avec précision les coordonnées de balises au sol. La connaissance des positions à la surface topographique reste toujours d'actualité ; géodésie et topographie ont de beaux jours devant elles.*

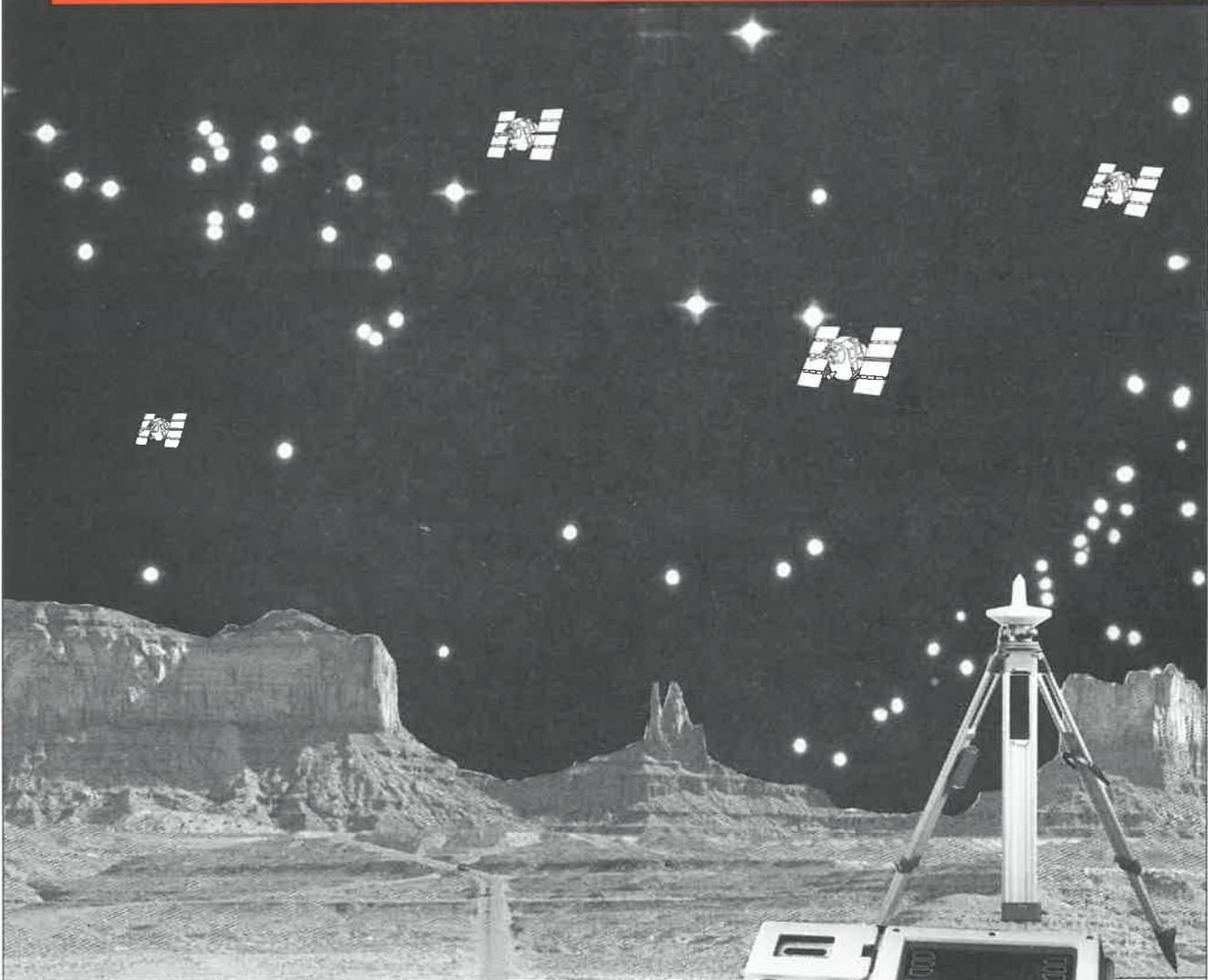
*Les nouvelles avancées technologiques ne seraient rien sans l'engagement des hommes. Sur ce point aucun souci à se faire, l'exercice de son métier exige du topographe des qualités incontestables d'entrain et de résistance. Au cours de son travail, le géomètre ne peut s'abstraire du contexte naturel et humain, il est plongé dans le tissu social et il est tenu d'être ce qu'on appelle un bon vivant.*

Sans vouloir faire concurrence à ces dames, il faut aussi rappeler que le métier de topographe est un des plus vieux métiers du monde. Quand on l'exerce, on ne peut éviter de se tourner parfois vers le passé, tant il est vrai que toute technique puise son élan dans une parfaite connaissance des acquis accumulés par les générations antérieures. Il faut donc remercier l'AFT de permettre à Monsieur Levallois de réunir en un seul volume l'ensemble des articles parus dans "XYZ" et consacrés à l'histoire de la géodésie.

L'Association Française de Topographie montre ainsi son dynamisme et on ne peut que souhaiter qu'elle continue à se développer par l'arrivée de nouveaux membres. Le nouveau bureau poursuivra, comme l'ancien, cette tâche et nous l'en remercions tous.

# WM101 POUR SAISIR DES INFORMATIONS

## PRECISES VENANT DU CIEL



### Déterminer une position au centimètre près.

**Où que ce soit, sur le globe terrestre. De jour et de nuit. Sans visibilité entre stations. Par la pluie, le brouillard, la chaleur et le froid.**

Cet équipement WM 101 est un jalon important dans l'histoire de la géodésie. Jamais l'expérience acquise par les célèbres Ets WILD HEERBRUGG, renommés pour la fabrication d'instruments d'optique et par MAGNAVOX, pionniers de la géodésie par satellites, ne s'est plus parfaitement concrétisée dans une réalisation d'avant-garde.

Ce sont simultanément les signaux émis par neuf satellites NAVSTAR du système de positionnement par satellites (GPS) qu'il est possible de capter au moyen de l'équipement portatif WM 101, pour les traiter ensuite par des logiciels évolués, capables de fournir des données géodésiques exactes, se référant aux systèmes de projection international (WGS), national ou local.

Ne croyez-vous pas que cet équipement vous permettrait de résoudre plus rationnellement vos propres problèmes de positionnement? ■

 Satellite Survey Company

G 90-86

Wild + Lëitz France, 86, av. du 18-Juin-1940, BP 326  
92506 Rueil-Malmaison Cedex, Tél. : (1) 47.32.92.13, Télex : WLF 203334 F

**WILD  
HEERBRUGG**

# Le système GPS et son impact sur les travaux topographiques

par C. BOUCHER, P. WILLIS  
IGN, Institut Géographique National

## Résumé

*Le système GPS a déjà largement montré sa puissance pour les travaux topographiques.*

*Un panorama des types d'emploi, qu'ils soient déjà opérationnels ou en cours de développement, est donné : navigation absolue ou différentielle, trajectographie ; géodésie mono ou bi-fréquence, avec orbites radiodiffusée ou recalculées.*

*Concernant les réseaux officiels de géodésie et de nivellement développés par l'IGN en France métropolitaine, l'impact de GPS est étudié sous deux aspects successifs :*

- l'utilisation de GPS avec les réseaux actuels : possibilités et restrictions,*
- la définition et réalisation de nouveaux réseaux nationaux permettant le plein emploi de GPS : possibilité, choix.*

## INTRODUCTION

Le système de satellites américains du Global Positioning System a été depuis plusieurs années étudié par les géodésiens. De nombreux programmes de recherche ont été développés de part le monde et ont démontré de nouvelles applications à ce système de positionnement militaire pour la géodésie. Le but de cet article n'est pas de refaire une description du système GPS mais plutôt de faire le point actuel sur l'état d'avancement des recherches sur les applications du GPS aux travaux topographiques.

Pour chaque type d'application du GPS nous décrivons le caractère actuel d'opérationalité et les perspectives futures de développement. Dès à présent, certains utilisateurs, à commencer par l'Institut Géographique National lui-même, ont commencé par utiliser le GPS pour leurs travaux topographiques de production. Cet état de fait ne va pas sans poser quelques problèmes théoriques relatifs à la bonne utilisation des résultats GPS et des réseaux officiels de géodésie et de nivellement. Dans un premier temps, on montrera comment utiliser le GPS avec le réseau géodésique national actuel ainsi que les limites de restrictions actuelles de cette utilisation.

Enfin, on montrera qu'il est possible dans un futur proche d'utiliser le GPS et le réseau national sans restriction à condition que le réseau national évolue. Quelques éléments de réflexion sur ce nouveau réseau permettront de mieux faire comprendre les problèmes qui se posent à son établissement.

## 1 - APPLICATION DU SYSTEME GPS

Le système GPS est actuellement, jusqu'à 1991, en phase pré-opérationnelle. Ceci signifie, qu'il n'est pas utilisable partout 24 heures sur 24. En revanche, durant ses périodes d'utilisation (2 à 3 heures en France), la qualité des résultats obtenue est la même que la qualité finale lorsque la constellation des satellites sera complète.

Ce système qui a déjà été décrit dans de nombreuses publications (C. Boucher, P. Willis — revue Navigation, Colloque Localisation en mer, XYZ...) permet deux types de mesures : les pseudo-distances (distance satellite-récepteur au sol biaisé par un terme d'horloge) et les phases (phase de battement très précise mais ambiguë).

### 1-1 - LES APPLICATIONS DES MESURES DE PSEUDO-DISTANCES

Les mesures de pseudo-distances permettent un positionnement temps-réel lorsque le récepteur est couplé avec un calculateur. Quatre satellites captés simultanément permettent d'obtenir une position absolue avec une précision d'environ 20 mètres. Cette application est pleinement opérationnelle et convient parfaitement à des fins de navigation ou de positionnement. En 1991, la limite actuelle de l'utilisation non continue du système GPS sera enfin atteinte et permettra de reconsidérer l'utilisation du GPS pour la navigation de bateaux, d'avions et peut-être de voitures si le marché est assez grand pour faire baisser les prix des récepteurs.

Sur cette inexactitude de 20 mètres, une grande partie est due à la mauvaise qualité des orbites radiodiffusées par les satellites (les seules permettant un positionnement temps réel). Les erreurs ainsi créées sont des erreurs qui varient lentement dans le temps et dans l'espace. La position d'un deuxième récepteur à proximité (jusqu'à quelques centaines de kilomètres) sera affectée d'une erreur presque identique. Ceci permet d'envisager un autre type d'utilisation du GPS : la navigation différentielle. Un récepteur reste fixe, pendant que l'autre peut être mobile. La qualité de ce positionnement s'améliore pour tomber dans la gamme de 1 à 5 mètres. Afin de conserver l'aspect temps-réel de cette localisation, il faut adjoindre au système GPS un système de transpondeur qui permet de retransmettre du récepteur-maître soit les mesures, soit sa position du deuxième récepteur. De nombreuses solutions, très variées, sont proposées actuellement par les constructeurs de matériel (Sercel en France,...).



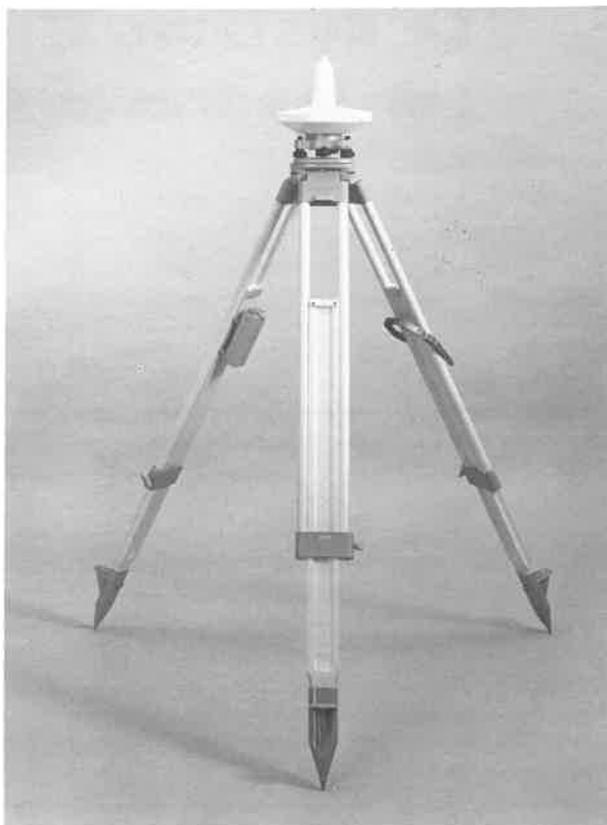
CL. SAGEM

Le récepteur Ashtech XII et tous ses accessoires.

Récepteur NR 52.



DOC. SERCEL



CL. WILD

WM 101 : antenne et récepteur.



CL. WILD

Afin d'améliorer ces résultats, il est nécessaire d'utiliser le GPS en différentiel (au moins deux récepteurs) et d'utiliser les mesures de phases GPS. Une première approche, très efficace, est l'utilisation des mesures de phases pour lisser les mesures de pseudo-distances et d'utiliser ainsi ces mesures comme dans le cas de la navigation différentielle. Cette technique nécessite un traitement a posteriori des mesures GPS et un logiciel adapté. Cette technique, déjà commercialisée, que nous appelons ici trajectographie GPS permet d'obtenir, à une précision meilleure que 50 cm, la position d'un mobile (avion, véhicule). Des expériences ont été menées à l'IGN en collaboration avec la Sercel pour l'utilisation du GPS sur un avion de prise de vues aériennes pour des besoins de photogrammétrie.

## 1-2 - LES APPLICATIONS DES MESURES DE PHASE

Dans toutes les applications suivantes, la mesure utilisée est la mesure de phase GPS seule, beaucoup plus précise que la pseudo-distance (1 millimètre au lieu de quelques dizaines de centimètres), en mode différentiel (au moins deux récepteurs). Ce sont ces applications géodésiques du GPS qui ont une très grande utilité pour les travaux topométriques. Il existe deux grands types de récepteurs géodésiques : les récepteurs mono-fréquence (enregistrant uniquement les mesures sur la fréquence L 1) et les récepteurs bi-fréquence, beaucoup plus coûteux qui enregistrent les mesures sur les fréquences L 1 et L 2 (tableau 1). L'intérêt des récepteurs bi-fréquence est essentiellement de pou-

voir mieux corriger l'allongement du à la traversée de l'ionosphère et est surtout essentiel pour de très grands réseaux (entre 50 km et 1 000 km). On peut donc penser que la plupart des travaux de topométrie courante peut être effectué à l'aide de récepteurs mono-fréquence.

Dans le cas des récepteurs géodésiques mono-fréquence la correction ionosphérique est effectuée à l'aide d'un modèle radiodiffusé dans le message des satellites GPS. Cette application est pleinement opérationnelle. En général, chaque constructeur vend le logiciel de traitement adapté et de nombreuses études ont montré que les résultats obtenus sont en général de l'ordre de  $2 \times 10^{-6}$  en relatif jusqu'à des distances d'environ 50 km (soit 1 cm à 5 km). Les tableaux 2 et 3 montrent des résultats obtenus à l'IGN sur une base  $\emptyset$  et sur une base de 2,7 km. Ces résultats proviennent d'une étude de comparaison beaucoup plus importante, établie en janvier-février 1988 en collaboration avec la Sercel. Chaque ligne de ces tableaux correspond à une estimation indépendante provenant du traitement à posteriori à l'aide du logiciel de l'IGN (GDVS, géodésie par mesure de distance et variation de distance sur satellite) d'environ 1 heure de mesures GPS. Ces résultats varient de l'ordre de 2 à 3 millimètres pour la ligne de base de 2,7 km (soit environ 1 partie par million =  $10^{-6}$ ).

Dans le cas de récepteurs géodésiques bi-fréquences traitées avec un logiciel de production les résultats sont un peu améliorés ( $10^{-6}$  au lieu de  $2 \times 10^{-6}$ ) à courte distance mais surtout, ils deviennent plus utiles à grande distance.

Un point très intéressant est qu'ils permettent d'obtenir des résultats beaucoup plus performants ( $2 \times 10^{-8}$  pour certaines équipes Américaines ou Suisses) lorsqu'elles sont traitées avec un logiciel de recherche spécialisé. Ce logiciel doit permettre un calcul de l'orbite des satellites GPS à posteriori

DOC. TRIMBLE

TABLEAU N° 1

### RECEPTEURS GPS GEODESIQUES COMMERCIALISES EN 1988

#### Monofréquence

**SERCEL** NR 52  
**TRIMBLE** 4000 SL  
**AERO SERVICE** Minimac 1816  
**WILD-MAGNAVOX** WM-101

(anciens : Sercel TR 5 S, Macrometer V 1000, Trimble 4000 SX)

#### Bifréquence

**TRIMBLE** 4000 SDL  
**AERO SERVICE** Minimac 2816  
**WILD-MAGNAVOX** WM-102

(anciens : Texas Instruments TI 4100, Aero Service Macrometer II, Trimble 4000 SDX)

Trimble 4000SL.



TABLEAU N° 2

#### Base 0 calculée par le programme GDVS Campagne tests Sercel (janvier-février 1988)

N° de session	Jour	Heures TU	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D (m)
1	6/01/1988	21 h 00 - 22 h 00	- 0.001	- 0.001	- 0.001	0.002
2	6/01/1988	22 h 10 - 23 h 10	0.001	- 0.003	- 0.004	0.005
3	6/01/1988	23 h 15 - 24 h 15	0.001	0.001	0.000	0.001
Valeurs moyennes			0.000	- 0.001	- 0.002	0.003
Ecart type			0.001	0.002	0.002	0.002

TABLEAU N° 3

**Calcul de la base SERCM001-AGFA (2,7 km) par le programme GDVS  
Campagne tests Sercel (janvier-février 1988)**

N° de session	Jour	Heures TU	DX (m)	DY (m)	DZ (m)	D (m)
1	28/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,034	- 2011,471	1217,832	2729,002
2	28/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,029	- 2011,466	1217,839	2728,999
3	29/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,027	- 2011,471	1217,832	2728,998
4	29/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,022	- 2011,460	1217,846	2728,993
5	30/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,026	- 2011,470	1217,837	2728,999
6	30/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1385,021	- 2011,464	1217,847	2728,997
7	31/01/1988	19 h 30 - 21 h 10	- 1385,024	- 2011,470	1217,837	2728,998
8	31/01/1988	21 h 20 - 22 h 50	- 1285,023	- 2011,463	1217,843	2728,995
Valeurs moyennes			- 1385,026	- 2011,467	1217,839	2728,998
Ecart type			0,004	0,004	0,005	0,003

(réseau orbitographie GPS concomitant, situé sur des sites LASER ou VLBI) et modéliser des paramètres stochastiques tels que les horloges, la correction troposphérique. Ce sont des logiciels de recherche, très lourds, qui ne seront probablement pas utilisés pour des besoins de production mais plutôt pour des besoins de recherche (réseaux géophysiques, dérive des continents,...).

Enfin, il faut citer au passage une application plus récente du GPS appelée GPS cinématique, qui peut être réalisée à l'aide de récepteur mono-fréquence. Comme dans les cas de GPS trajectographie, il faut disposer d'un récepteur fixe et d'un récepteur mobile. Mais, pour le GPS cinématique, c'est la mesure de phase qui est utilisée directement. Des premiers essais ont été réalisés à l'IGN récemment et ont montré une précision centimétrique (voire meilleure) de positionnement, en traitant les mesures à l'aide du logiciel GDVS. Cette application est encore au stade de développement mais peut permettre un gain de temps appréciable (il suffit, en effet, de laisser le récepteur quelques secondes au lieu de 1 heure dans le cas général). Néanmoins, cette application possède de grandes restrictions qui limitent son emploi : le site de travail doit être dégagé, il faut donc éviter les environnements boisés et les environnements urbains.

On voit donc, que le GPS permet de nombreuses applications très différentes (résumés dans les tableaux 5 et 6 de la conclusion), et que, dès à présent, certaines techniques permettent d'obtenir quelques millimètres ou quelques centimètres en production courante pour de nombreux travaux topométriques.

## 2 - LE RESEAU GEODESIQUE FRANÇAIS ET GPS

### 2-1 - Typologie d'un réseau géodésique

Afin de mieux cerner les caractéristiques des réseaux géodésiques, comment ils répondent aux besoins des utilisateurs ou comment ils peuvent évoluer à la lueur des nouvelles techniques, il est utile de dresser au préalable un inventaire de leurs caractéristiques.

On définira un réseau géodésique comme un ensemble de repères physiques naturels ou implantés de façon plus ou moins durable sur la surface topographique, pour lesquels sont déterminées des coordonnées bi-dimensionnelles (ou tri-dimensionnelles) dans un système de référence donné. On pourra donc attribuer à un tel réseau un certain nombre de caractéristiques, dont voici une liste non limitative :

#### a) Objectifs

Ils sont divers : réalisation d'un système de référence, topométrie, cadastre, cartographie, bases de données.

#### b) Système de coordonnées

Il est entièrement caractérisé par l'adoption :  
 — d'un système de référence (datum), traditionnellement, pour les systèmes terrestres locaux, via l'adoption d'un point fondamental  
 — d'un ellipsoïde  
 — d'un méridien origine, pour les longitudes  
 — d'une représentation cartographique plane de

l'ellipsoïde, dans le cas où les coordonnées diffusées sont planes

- des unités angulaires et linéaires.

### c) Structure du réseau

Selon plusieurs aspects :

#### c-1 Hiérarchique

Exemples :

- 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>... ordre
- mondial/européen/national/utilisateur
- fédéral/par état/utilisateurs.

#### c-2 topologie

Chaînes, surface, polygonales...

#### c-3 Utilitaire

Sites de mesures ou sites utilisés soit dans les interfaces (jonction national/européen par exemple) soit par les utilisateurs (points directement exploitables).

### d) Exactitude

Généralement, caractérisée par l'écart-type d'une distance plane entre deux points D :

$$\sigma_D = a^2 + b^2 D^{2c}$$

avec  $c \sim 1$  et  $a \ll bD^c$  si D dépasse quelques km, de sorte que

$$\sigma_D \approx bD^c$$

b en cm/km par exemple.

### e) Méthodes de mesure

Pour l'établissement ou la maintenance : triangulation, polygonation GPS, inertiel...

### f) Matérialisation

Qualité, stabilité et pérennité de la matérialisation des points sur le terrain.

### g) Diffusion des informations

Soit pour les interfaces, soit pour les usagers.

Supports de documentation (fiches, microfiches, listages, disquettes, bases de données...).

## 2-2 - LE RESEAU NTF

Le réseau géodésique actuellement en usage est celui de la Nouvelle Triangulation de la France (NTF).

En suivant la typologie précédente, on peut le caractériser ainsi :

#### a) Objectifs

- Réalisation d'un système national.
- Cartographie.
- Cadastre.
- Topométrie.
- Hydrographie.

#### b) Système de coordonnées

Point fondamental : Panthéon.

Ellipsoïde de Clarke 1880 IGN Mètres - Grades.

Unités : mètres-grades.

Méridien origine ; Paris.

Projection : Lambert 1, 2, 3, 4.

### c) Structures

Cf table et figure.

### d) Exactitude

$$b = 10^{-5} \text{ au } 1 \text{ cm/km}$$

### e) Méthodes de mesure

Triangulation (+ bases invar et stations de Laplace)

Polygonales de détail en zones montagneuses ou boisées.

### f) Matérialisation

Bornes IGN (ou anciennes) sauf 5<sup>e</sup> ordre.

Maintenance non assurée, sauf quelques campagnes de révision.

### g) Diffusion

Répertoires puis microfiches.

A l'étude : disquettes et serveur télématique.

## 2-3 - GPS ET NTF

Le système GPS en mode géodésique peut-être utilisé pour :

- la réfection du réseau (IGN)
- la maintenance des bornes (IGN)
- la densification (utilisateurs).

Dans tous les cas, l'exactitude de  $2 \times 10^{-6}$  de GPS pose un problème de cohérence avec celle du réseau d'appui ( $10^{-5}$ ). Il est alors nécessaire de connaître les distorsions du réseau d'appui et des points voisins, afin de transformer les coordonnées GPS, pour les amener dans un réseau uniformément homogène à  $10^{-5}$ , quelle que soit l'origine du point.

Ceci impose la redétermination par GPS de points existants :

- pour la réfection, les points de bordure de la zone réfectionnée par GPS
- pour la maintenance, les trois points les plus proches
- pour la densification, tous les points NTF de la zone à densifier.

L'utilisation de GPS s'avère donc d'ores et déjà réalisable, et permet donc d'être retenue face à d'autres pour des raisons économiques. On constate néanmoins l'importance des travaux supplémentaires dus à l'inadéquation du réseau NTF actuel.

Une amélioration de la qualité de celui-ci permettrait de simplifier sensiblement l'emploi de GPS, et donc d'en diminuer le coût.

## 2-4 - POUR UN NOUVEAU RESEAU !

Un certain nombre d'éléments, permettent

d'envisager la redéfinition d'un réseau géodésique national.

On peut citer, en vrac et sans prétendre être exhaustif :

- l'accès à de nouvelles techniques de mesures (spatiales comme GPS, laser satellite, VLBI...) ou de gestion d'information (banques de données)
- la nécessité de pouvoir obtenir dans des zones particulières (urbaines par exemples) d'un canevas précis et exploitable (banques de données urbaines...), et, en conséquence, l'intérêt d'optimiser le réseau d'appui en vue de sa densification par GPS
- la nécessité croissante surtout après 1992 de disposer d'un canevas de qualité, dans un système de coordonnées normalisé au niveau européen.

Ces problèmes sont d'ailleurs débattus dans une nouvelle commission au sein du CNIG. Notre propos, ici, est purement informatif et ne prétend pas supplanter ses conclusions, mais tout au contraire lui apporter quelques suggestions techniques.

Ces suggestions, telles qu'elles sont esquissées ici, reposent sur un certain nombre d'hypothèses :

- définir au niveau national un canevas tridimensionnel pleinement compatible avec les systèmes géodésiques mondiaux internationalement acceptés (IERS, WGS, cf après) et avec une exactitude centimétrique (appelé après Réseau de Référence Français RRF)
- densification du RRF en un canevas plus utile que le réseau NTF, c'est-à-dire suffisamment précis et bien matérialisé sur le terrain, donc régulièrement visité et reborné
- jouer notre rôle dans la sous-commission EUREF de l'Association Internationale de Géodésie (AIG)
- exploiter au maximum le patrimoine géodésique existant, notamment l'ensemble des mesures réalisées par l'IGN pour la NTF
- mettre à la disposition des utilisateurs ces données nouvelles sans imposer à court terme l'abandon systématique de NTF.

TABLEAU N° 4

Structure			Espacement	Nb points	Exactitude	Coopération
Réseau NTF						
Principal	Base	1 <sup>er</sup> ordre 2 <sup>e</sup> ordre	30 km 10 km	800 5 000	10 <sup>-5</sup> 10 <sup>-5</sup>	RETRIG
	Détail	3-4 <sup>e</sup> ordre	3 km	50 000	10 <sup>-5</sup>	
Complémentaire		5 <sup>e</sup> ordre			Diverse	
Réseau RGF						
	RRF	Spatial	200 km	20	1 cm	SIRT-EUREF
	Base	1 <sup>er</sup> -2 <sup>e</sup> ordre	10 km	6 000	10 <sup>-6</sup>	EUREF
	Détail	2 <sup>e</sup> -4 <sup>e</sup> -5 <sup>e</sup> ordre	2 km	80 000	qq. 99 10 <sup>-6</sup>	

On peut alors suggérer un nouveau réseau (nom à définir : RGF Réseau Géodésique Français ?) :

#### a) Objectifs

En plus des objectifs déjà cités, la prise en compte d'aspects géodynamiques (surveillance de déformations) est souhaitable et réalisable compte tenu de la précision accrue.

#### b) Système de coordonnées

Un nouveau système est nécessaire, au moins au niveau européen. Afin de donner une solution définitive (si cela existe) à cette question nous proposons d'adopter un système mondial :

Système : celui de Service International de Rotation de la Terre (SIRT/IERS), successeur du BIH depuis janvier 1988.

Ce système sera maintenu avec la plus grande

exactitude (centimètre !) par un réseau de stations VLBI et laser. Il est parfaitement densifiable (laser ou VLBI mobile, GPS, Doris) avec la même qualité. Cette tâche est envisagée au niveau européen par EUREF, au sein de laquelle chaque pays définira la portion de ce réseau qui couvre son territoire. Pour la France, ce sera précisément le RRF. Par ailleurs le système WGS 84, base des éphémérides GPS, est et restera parfaitement relié à ce système.

Ellipsoïde : celui de l'AIG : GRS 80, déjà adopté par WGS 84.

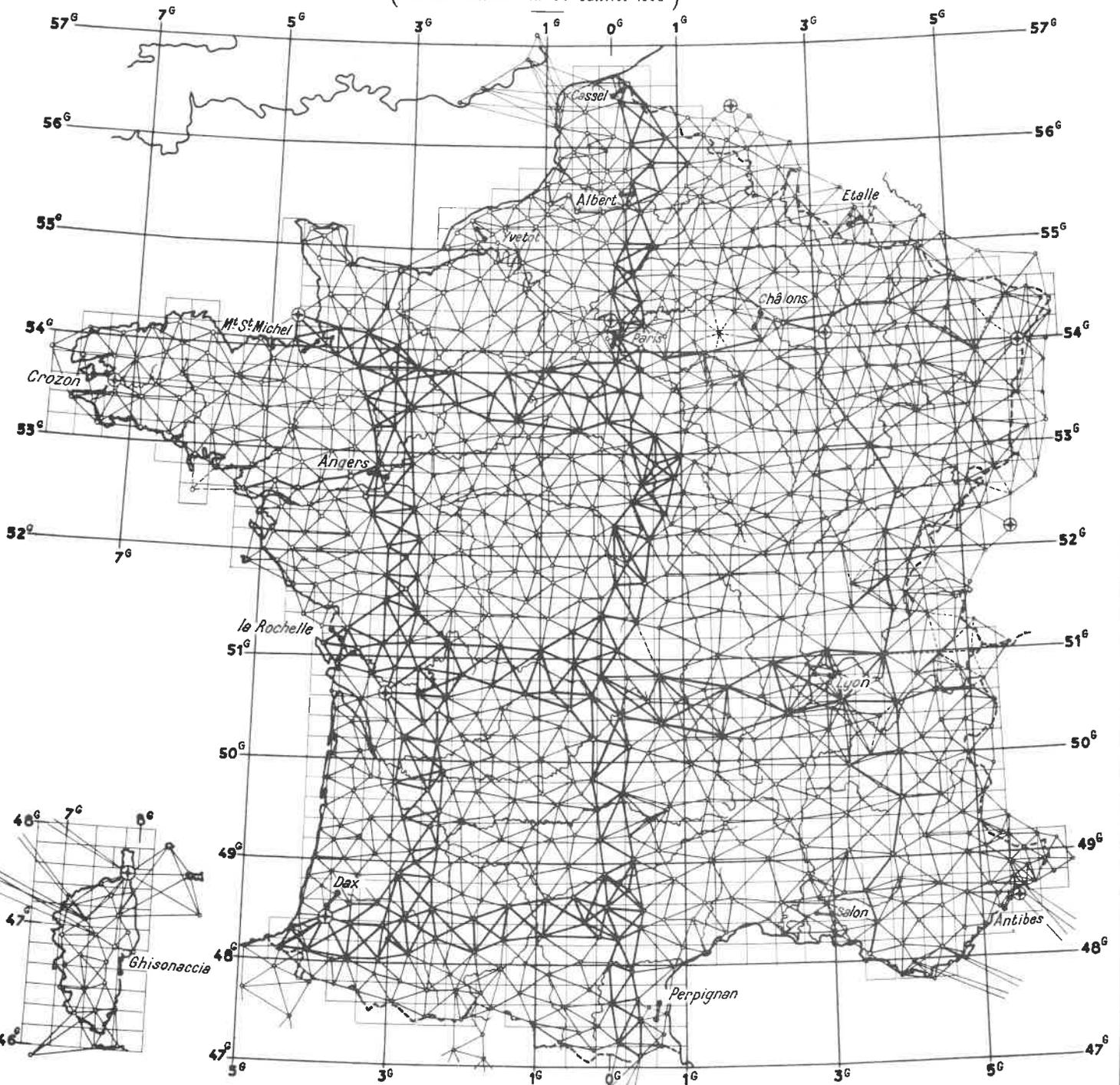
Projection : à définir si nécessaire.

#### c) Structure

A priori en 3 niveaux (cf table) :

- RRF 20 points
- base 5 000 points
- détail 80 000 points.

## FRANCE

Triangulation de 1<sup>er</sup> ordre(Réseau achevé au 1<sup>er</sup> Janvier 1958)

⊕ Station astronomique

● Base

Le réseau de 1<sup>er</sup> ordre, d'environ 850 sommets, est appuyé sur 14 bases et 10 stations astronomiques dites de Laplace. Une étude est actuellement en cours pour renforcer, vérifier son échelle et son orientation.

**d) Exactitude**

Pour RRF 2-3 cm dans le système mondial (soit, selon la distance  $10^{-7}$  à  $10^{-8}$ ).

Pour le réseau de base :  $10^{-6}$ .  
Pour le détail :  $10^{-6}$ .

**e) Méthodes de mesures**

Pour RRF : spatial (GPS, laser mobile...).

Pour le réseau de base : reprise des données NTF, maintenance par GPS.

Pour le détail : reprise des données NTF, maintenance par GPS si nécessaire.

**f) Matérialisation**

Maintenance annuelle pour RRF et le réseau de base.

A définir pour le détail.

**g) Diffusion**

Par banque de données. Les valeurs NTF et RGF coexisteront. L'utilisateur pourra voir ainsi les distorsions de NTF par rapport à RGF, et aura le choix, au moins à court terme, soit de travailler avec le

système NTF, soit avec le nouveau système RGF. Bien sûr, d'autres considérations (légal...) peuvent faire prendre une décision autre. Nous voulons simplement indiquer ici qu'il n'y a aucun problème technique de coexistence. De plus, l'adoption pour RGF d'un nouveau système de coordonnées supprime toute ambiguïté sur les valeurs numériques des coordonnées.

Cette nouvelle structure permet d'envisager le plein usage du réseau avec GPS. L'utilisateur pourra aisément densifier, par mode géodésique ( $10^{-6}$ ), même exclusivement en s'appuyant sur le réseau de base. Il ne semble donc plus absurde d'abandonner à l'échelon national l'entretien du détail au profit d'une maintenance annuelle du réseau de base.

Ultérieurement, l'emploi de GPS en mode ultra-précis donc accompagné d'un service d'éphémérides adéquates, permet même d'obtenir un résultat encore meilleur en ne s'appuyant plus que sur le RRF. Celui-ci pourrait d'ailleurs être constitué de stations GPS automatiques. L'utilisateur, en collectant par télétransmission les données d'une station située à une centaine de km de son point, obtiendrait alors aisément (calcul sur micro-ordinateur) sa position au centimètre près !

TABLEAU N° 5

**Type de localisation et performances actuelles du système GPS à l'IGN**

Type de localisation	Type de récepteur	Type de logiciel	Type d'orbite	Correction ionosphérique	Précision	Caractère d'opérationnalité à l'IGN
navigation	mono ou bifréquence pseudo-distance	temps réel ou temps différé pseudo-distance	radiodiffusée	modèle	20 m	opérationnel
navigation différentielle	mono ou bi-fréquence pseudo-distance	temps réel ou temps différé pseudo-distance	radiodiffusée	modèle	1 à 5 m jusqu'à 500 km	opérationnel
trajectographie	mono ou bi-fréquence pseudo-distance et phase	temps différé pseudo-distance lissée par la phase	radiodiffusée	modèle	10 à 50 cm jusqu'à 500 km	phase de test
GPS géodésique mono-fréquence	mono-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle	$2 \times 10^{-6}$ en relatif jusqu'à 50 km	opérationnel
GPS géodésique bifréquence	bi-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	correction bifréquence	$10^{-6}$ en relatif jusqu'à 100 km	recherche
GPS géodésique mélange mono-fréquence et bifréquence	mono-fréquence bi-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle + correction bifréquence	$10^{-6}$ en relatif jusqu'à 100 km	opérationnel (mélange)
GPS cinématique	mono-fréquence phase	temps différé phase	radiodiffusée	modèle	$2 \times 10^{-6}$ en relatif jusqu'à 5 km	phase de test
GPS ultra-précis	bi-fréquence phase	temps différé phase avec calcul d'orbite	calculée	correction bifréquence	$10^{-7}$ en relatif jusqu'à 1 000 km	recherche
temps fréquence	mono-fréquence pseudo-distance	logiciel spécifique	radiodiffusée	modèle	10-100 ns	—

## CONCLUSION

On voit ainsi toute l'importance du système GPS pour la redéfinition, la maintenance et l'exploitation du réseau géodésique national, jusqu'à le remplacer progressivement. Cette évolution doit être conjointement définie par les producteurs, les experts et les utilisateurs pour lequel le CNIG est un forum approprié.

Mais loin de nous en tenir là, il faut aussi envisager d'autres (r)évolutions apportées par GPS. Par exemple, le nivellement, si l'information géoïdale est connue avec une exactitude suffisante, ou bien les levés photogrammétriques sans point d'appui au sol... GPS est à placer en première place parmi les outils du "nouveau topographe".

TABLEAU N° 6

### Applications possibles du GPS à l'IGN

Type de localisation	Applications possibles	Exemples
Navigation	Positionnement absolu isolé Stéréo-préparation à très faible échelle Obtention rapide d'un réseau de points d'appui pour technique inertielle	Campagne africaine pour la DMA
Navigation différentielle	Stéréo-préparation Réseau de points d'appui pour technique inertielle	
Trajectographie	Base de données routières Trajectographie d'avion pour l'aéro-triangulation	Test d'aérotiangulation
GPS géodésique Mono-fréquence	Géodésie (réfection ou révision) Petits travaux géodésiques ou géophysiques	Belgique (Zottegem), Martinique 88 réseau Provence, réseau Pyrénées
GPS géodésique bifréquence	Géodésie, géophysique (surtout utile pour les grands réseaux)	
GPS géodésique mélangé mono-fréquence bifréquence	Géodésie (réfection ou révision) pour de grands réseaux (en France)	Tunnel/Manche 87
GPS cinématique	Stéréo-préparation à grande échelle Densification de réseau géodésique	
GPS ultra-précis	Réseau géophysique : grandes distances faibles déformations	
Temps fréquences	Synchronisation d'horloges	

### Bibliographie

R. Brossier, C. Million, A. Reynes, *Photogrammetric applications of Sercol GPS TR5S-B receiver at Institut Géographique National-France, ISPRS Congress, Tokyo (Japon), 1988.*

J.-M. Davidson et al, *Demonstration of the fiducial concept using data from the March 1985 GPS field test, Proceedings of the 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin (USA), mai 1986.*

G. Lachapelle, M. Casey, *Performance du GPS pour la localisation en mer (Expériences Canadiennes), 3<sup>e</sup> Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987.*

H. Landau, *Precise kinematic GPS positioning. Experiences on a land vehicle using TI4100 receivers and software, XIXth IUGG Symposium, Vancouver (Canada), août 1987.*

W. Lewandowski, M. Weiss, D. Davis, *A calibration of GPS equipment at time and frequency standards laboratory in the UA and in Europe, 1987.*

G. Mader, *Dynamic positioning using GPS carrier phase measurements, Manuscripta Geodeticae, vol 11/4, pp. 272-277, 1986.*

G. Nard, R. Gounon, J. Broustal, *Matériels et applications du GPS différentiel de haute précision, hybridation avec d'autres moyens, 3<sup>e</sup> Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987.*

G. Nard, G. Bonin, *Différentes méthodes d'applications du GPS différentiel et résultats d'essai, journées SEE, Section 23, Paris, février 1987.*

B. Remondi, *Performing centimeter level accuracy in seconds with GPS carrier phase : initial results, Proceedings of the 4th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Austin (USA), mai 1986.*

D.-E. Wells et al, *Guide to GPS positioning, Canadian GPS associates, 1986.*

P. Willis, C. Boucher, *Tide gauge connection using GPS, XIXth IUGG Symposium, Vancouver (Canada), août 1987.*

P. Willis, *Application de la technique GPS pour la localisation précise, 3<sup>e</sup> Colloque Localisation en mer, Reuil Malmaison, septembre 1987, publié dans la revue Géomètre n° 3, mars 1988.*

*Spécifications pour l'équipement géographique du territoire, IGN 1972.*

Découvrez aujourd'hui  
les avantages du positionnement  
par satellites...



...Et la simplicité d'utilisation  
de nos matériels, grâce au  
logiciel "GPS mission."



SERCEL/FRANCE

B.P. 64. 44471 CARQUEFOU CEDEX ☎ (33) 40 30 11 81. Telex 710 695 F. Fax (33) 40 30 19 48  
S.A. CAP. 69 984 000 F. R.C. 866 800 154 B NANTES

# “Evolution des techniques spatiales dans le domaine de la navigation”

par M. LE GOUIC

*Ingénieur au Service Hydrographique et Océanographique de la Marine*

## Résumé

*Les études actuellement en cours et les projets spatiaux en développement annoncent pour les années 90 une série de systèmes de localisation par satellites de types nouveaux. C'est une formidable capacité qui sera donnée aussi bien à ceux qui ont pour tâche de décrire la terre, qu'à ceux qui s'y déplacent.*

*Un panorama de ces moyens spatiaux actuels et futurs est dressé avec une attention particulière pour les problèmes de navigation.*

## INTRODUCTION

Le domaine couvert par le terme localisation est vaste. Il comprend deux aspects qu'il y a lieu de distinguer parce que les moyens mis en œuvre, les techniques proposées et les besoins annoncés sont sensiblement différents :

- la navigation où le mobile détermine lui-même sa position ;
- le positionnement où un site central détermine la position de mobiles.

Pour chacun de ces aspects le rôle joué par les satellites est multiple et je ne pourrai, sous peine de n'en faire qu'un inventaire peu satisfaisant, présenter l'ensemble des moyens, des services et des applications offerts aux utilisateurs.

Considérons par exemple le problème général de la navigation (je la supposerai le plus volontiers maritime, mais les considérations propres à l'océan que je serai amené à développer sont en général transposables de façon assez immédiate aux domaines terrestre et aérien). La navigation peut être définie comme l'art de faire parvenir un mobile à une destination donnée dans des conditions données : elle comprend donc la capacité :

- de localiser le mobile relativement à un référentiel terrestre ;
- de choisir en fonction de l'environnement la route optimale pour un critère donné (par exemple la sécurité, l'économie, le confort...).

Les satellites peuvent alors être utilisés pour :

- localiser l'objet ;
- définir les référentiels (géodésie) ;
- étudier l'environnement (topographie, courants, météo...) ;
- transmettre des données (informations techniques, carte électronique...).

Je traiterai ici essentiellement le premier aspect, localisation de l'objet mobile, vous renvoyant à l'exposé de M. Boucher pour un développement détaillé des évolutions en matière de géodésie et je ferai une impasse presque complète sur les problèmes liés à la connaissance de l'environnement.

## GENERALITES SUR LA LOCALISATION PAR SATELLITES

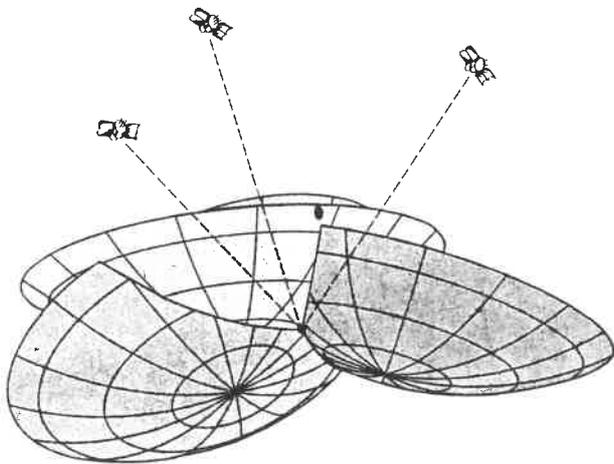
**1** - En l'absence de satellites, on peut localiser un mobile :

- en utilisation des moyens autonomes (estime et recalage périodique sur des observations astronomiques ou à l'aide de gradients géophysiques) : les précisions obtenues sont modestes et tributaires des possibilités de recalage (météorologie clémente, connaissance cartographique détaillée...) ;
- à l'aide de moyens radioélectriques où le mobile est positionné relativement à des balises terrestres, elles-mêmes rattachées à une géodésie. Avec ces moyens, portée et précision sont d'une manière générale des qualités contradictoires. Tant que la liaison directe est possible, il n'y a, en effet, guère de problèmes d'atténuation ou de propagation : du moins ils sont assez simples à maîtriser. Au-delà, il faut étudier la physique de la propagation à l'interface entre des milieux électriquement différents en tenant compte de la rotondité de la terre. L'utilisation optimale des moyens suppose le recours à des spécialistes, avec des résultats souvent insuffisants pour certains utilisateurs particulièrement exigeants (hydrographes, géophysiciens, militaires...).

En utilisant des satellites, on se replace dans les conditions de la visibilité directe et les avantages qui en découlent sont supérieurs aux inconvénients liés à la distance entre émetteurs et récepteurs, et à la mobilité de l'émetteur.

**2** - Le principe de la navigation par satellites peut être symbolisé d'une manière simple et consiste essentiellement en deux approches distinctes :

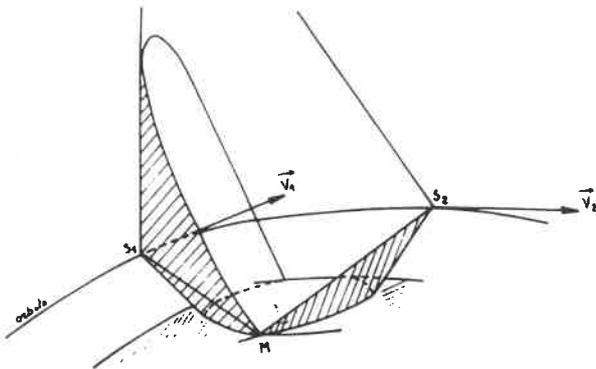
- l'une basée sur la mesure des distances (fig. 1) entre la station et plusieurs positions successives d'un même satellite, ou d'une manière quasi équivalente des distances mesurées sur plusieurs satellites. Le mobile est alors placé à l'intersection de sphères centrées sur les positions du ou des satellites.



— Figure 1 : Principe de la navigation par satellites : mesures de distances.

L'avantage d'utiliser plusieurs satellites est de permettre une localisation instantanée, tandis qu'avec un seul satellite, il faut éviter une géométrie proche de la singularité par un défilement suffisamment long du satellite sur son orbite.

— la seconde approche est basée sur le principe classique de la navigation hyperbolique : on mesure la différence de distance (ou une quantité qui lui est directement reliée) entre l'observateur et deux positions successives d'un satellite. On obtient ainsi successivement plusieurs hyperboloïdes (dégénérés éventuellement en cônes si les positions du satellite sont proches l'une de l'autre - fig. 2 -) à l'intersection desquels est placé l'observateur.



— Figure 2 : Principe de la navigation par satellites : mesures hyperboliques.

**3** - Quel que soit le type de mesure, la position du mobile est déterminée relativement au repère dans lequel est décrit le mouvement du satellite. Il faut donc bien connaître l'orbite du satellite, la précision de cette détermination se reflétant immédiatement sur celle de l'observateur terrestre. C'est pourquoi un système de navigation spatiale n'est pas composé seulement de satellites mais doit être com-

plété par un ensemble de stations de référence dont les observations servent au calcul de l'orbite. Cette orbite est alors diffusée par des éphémérides qui peuvent être :

- les éphémérides précises obtenues a posteriori à partir des observations du réseau de stations de référence. La précision actuelle est métrique ;
- les éphémérides prédites, ou approchées, ou opérationnelles, qui représentent une orbite extrapolée. Les éléments de ces éphémérides sont rafraîchis périodiquement dans les mémoires du satellite et transmis par ce satellite à l'utilisateur sous la forme d'une modulation de la fréquence émise.

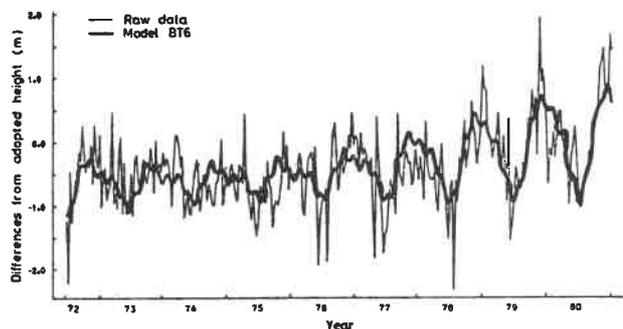
**4** - La liaison radioélectrique entre le satellite et l'observateur se fait à travers l'atmosphère et deux perturbations de propagation sont à prendre en compte :

- la première concerne les couches basses de l'atmosphère où l'effet observé est indépendant de la fréquence (au moins jusqu'à quelques dizaines de GHz). Pour corriger l'effet de la réfraction troposphérique on utilise un modèle calé sur les mesures de température, humidité et pression. Lorsque la mesure locale de ces paramètres n'est pas possible, il faut éviter d'utiliser les satellites les plus bas ;
- la deuxième concerne les couches hautes de l'atmosphère où la présence d'électrons libres engendre une perturbation de propagation équivalente à un retard. Cet effet est, au premier ordre, inversement proportionnel à la fréquence (mesure de distance) ou à son carré (cas des mesures de vitesse radiale effectuée par effet Doppler).

En utilisant deux signaux émis en phase sur deux fréquences (générées par un même oscillateur) on peut donc aisément s'affranchir de cette perturbation ionosphérique. Si on ne dispose pas de deux fréquences, il faut utiliser un modèle qui sera d'autant plus fiable que l'ionosphère est plus calme.

Les corrections ionosphériques ainsi décrites ne concernent que le 1<sup>er</sup> ordre et un suivi sur une longue période montre que les effets d'ordre supérieur ne sont pas négligeables (fig. 3).

Cette description sommaire des principes de la localisation par satellites s'applique de façon générale, à tous les systèmes que je vais maintenant présenter.



— Figure 3 : Perturbation ionosphérique résiduelle.

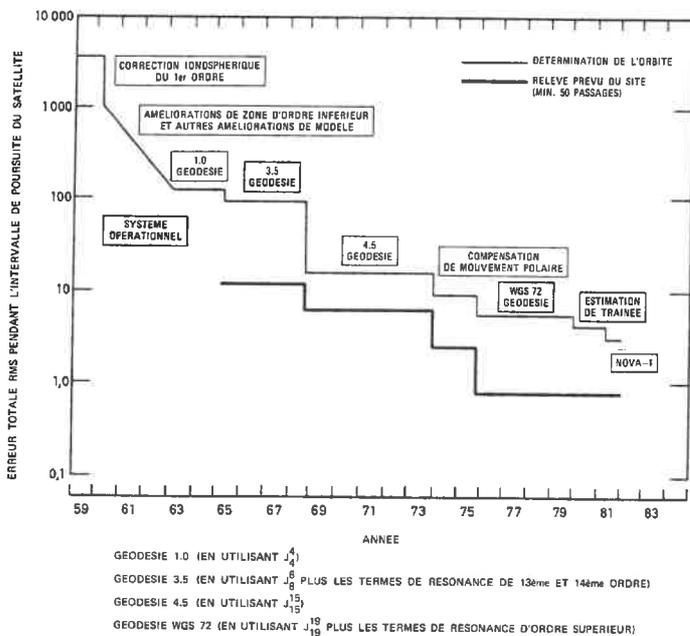
## SATELLITES DESTINES A LA NAVIGATION

1 - La réalisation initiale majeure est le Navy Navigation Satellite System ou Transit, initialement destiné à offrir un soutien aux sous-marins Polaris et dont la réalisation et le contrôle ont été confiés au ministère de la Défense Américain (DOD). L'accès civil a été donné en 1967, sans que tous les éléments concernant la définition du système aient été déclassifiés.

La mesure est effectuée sur l'effet Doppler observé sur un des 6 satellites défilants constituant le segment spatial. Le mobile est positionné à l'intersection d'hyperboloïdes s'appuyant sur les positions successives du satellite pendant sa période de visibilité (5 à 20 mn).

Le système est bien connu (70 000 utilisateurs dont 2 500 en bi-fréquence) et les causes d'erreurs sont bien identifiées :

— La première concerne la précision de l'orbite qui est connue en navigation par les éphémérides prédites. A mesure que le système se développait, la prédiction d'orbite s'est améliorée ainsi que l'illustre la figure 4 avec différentes étapes importantes :



— Figure 4 : Amélioration dans la détermination des orbites Transit.

1959-64 : mise en évidence d'incohérences entre systèmes de référence locaux et mise en place progressive de méthodes de positionnement à l'échelle intercontinentale.

Cette possibilité de rattacher des systèmes locaux à un référentiel unique, a été un apport très important pour unifier la représentation de la cartographie marine.

1964-67 : Amélioration des modèles gravitationnels par observation des orbites de divers satellites.

1967-70 : Publication des premiers modèles du

potentiel terrestre avec calcul simultané des orbites et des coordonnées des stations d'orbitographie.

1970-79 : Les méthodes spatiales détectent les mouvements du pôle avec une précision équivalente à celle de l'astronomie.

1979 : Les mêmes méthodes reflètent les irrégularités de rotation de la terre.

1981 : Les nouveaux satellites NOVA sont à compensation de traînée et permettent de mieux s'affranchir des effets non gravitationnels.

Ces progrès dans la trajectographie se reflètent immédiatement chez les utilisateurs.

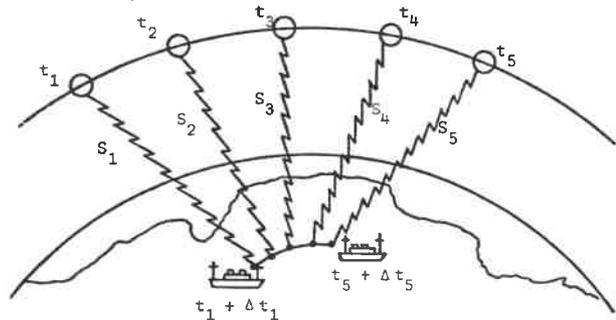
— La deuxième cause d'erreur concerne les perturbations ionosphériques et troposphériques déjà mentionnées.

— La troisième cause est la non instantanéité des mesures. Si l'objet est immobile, on peut, pour améliorer la précision de la localisation :

- soit cumuler plusieurs observations à des époques différentes ;

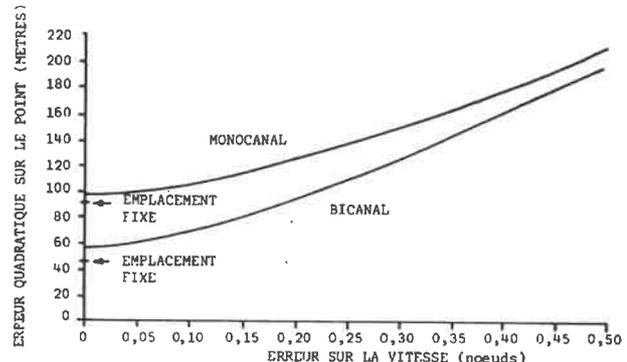
- soit effectuer un traitement différentiel par rapport à une station de référence. On admet alors que les erreurs d'orbites et de propagation en deux stations voisines sont équivalentes et corriger les observations de la station inconnue des écarts constatés sur celle connue.

Si l'objet est mobile il faut ramener une observation de 20 mn à un instant de référence et pour ce faire, on utilise les valeurs fournies par l'estime du mobile (fig. 5).



— Figure 5 : Géométrie d'un passage Transit : navire en mouvement.

L'erreur qui résulte sur le positionnement d'une erreur dans les valeurs de l'estime est illustrée par la figure 6.



— Figure 6 : Erreur d'estime et précision du point Transit : cas de la vitesse.

En navigation, on estime que la précision du point Transit isolé varie de 100 à 500 m selon la qualité de l'estime et du récepteur. L'utilisation de techniques de filtrage pendant les passages ou entre les passages permet de réduire cette erreur jusqu'à une centaine de mètres.

Ce bref rappel des caractéristiques générales de Transit permet de faire ressortir les principales critiques formulées par ses utilisateurs :

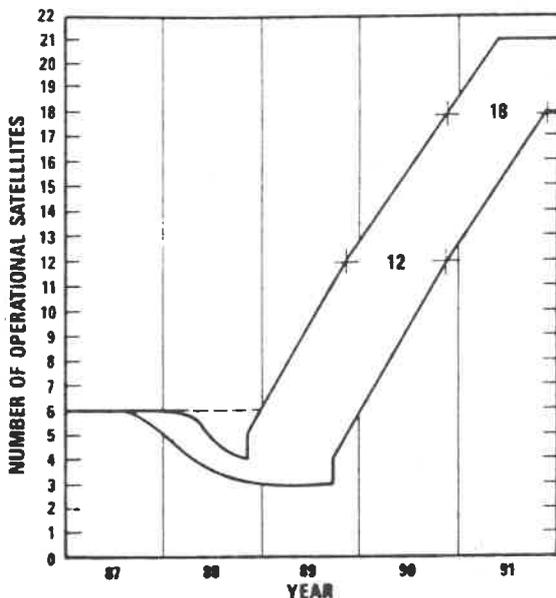
- la trop longue durée de chaque détermination et on souhaite une localisation instantanée ;
- la fréquence trop rare du positionnement (il faut parfois attendre plusieurs heures à l'équateur) et on souhaite un positionnement disponible à tout moment ;
- la précision moyenne de la localisation au moins en navigation ;
- l'impossibilité d'échange de messages entre le mobile localisé et la base.

2 - Pour répondre à ces différentes critiques, de nouveaux systèmes sont en développement aujourd'hui. Le premier et le plus avancé de ces projets est le NAVSTAR/GPS dont M. de Chezelles fera une présentation très détaillée demain : je me contenterai donc ici de quelques considérations relatives essentiellement au problème de la navigation.

• Le programme GPS a été lancé en 1973 par le DOD pour fournir aux armées Américaines un service de radiolocalisation permettant la détermination précise et continue de la position, de la vitesse et du temps à un utilisateur convenablement équipé.

Une constellation probatoire d'au moins 6 satellites a été mise en place pour qualifier le système et les performances que j'indiquerai par la suite ont été vérifiées sur cette constellation réduite.

La mise en place de la constellation définitive (21 satellites gravitant à 20 000 km d'altitude, sur des orbites de période 12 heures) a été retardée par les problèmes de lanceurs aux Etats-Unis et la figure



— Figure 7 : Calendrier prévisionnel de mise en œuvre du GPS.

7 illustre le calendrier probable (1988) de réalisation du programme : en 1992, chaque utilisateur devrait disposer en tout lieu et à tout instant d'au moins 4 satellites en visibilité directe.

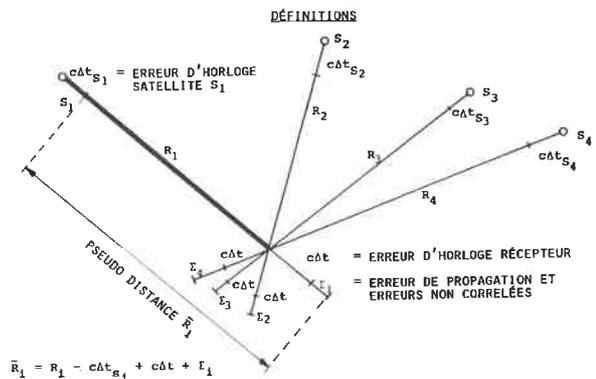
• Chaque satellite émet 2 fréquences  $L_1 = 1\,575$  MHz et  $L_2 = 1\,227$  MHz générées par un même oscillateur à 10,23 MHz. Chacune est modulée par 1 ou 2 codes, le code précis (P : Précise code) et le code approché C/A (Coarse/Acquisition) composés l'un et l'autre d'une suite binaire pseudo-aléatoire. Le code P est généré à la fréquence 10,23 MHz avec une période de répétition de 267 jours ; pour le code C/A, ces valeurs caractéristiques sont respectivement de 1,023 MHz et 1 ms.

Outre les codes P et C/A, la porteuse est modulée du message de navigation contenant entre autres une table d'éphémérides.

• **Différentes mesures sont possibles avec GPS**

— *Les pseudo-distances* : Ces mesures nécessitent la connaissance d'un des deux codes C/A ou P. Elles consistent à effectuer une corrélation entre le signal reçu du satellite et les codes générés par le récepteur. La pseudo-distance est alors la différence du temps de réception de la transition du code (mesurée suivant l'horloge du récepteur) et du temps d'émission de la même transition (mesurée suivant l'horloge du satellite). Cette mesure est donc biaisée par les imprécisions d'horloge (satellite et récepteur) et les effets atmosphériques.

Avec 4 pseudo-distances et les positions des satellites (déduites des éphémérides), on calcule la position du récepteur et le décalage des horloges. Ce type de mesure est non ambigu. C'est le mode dit 3D + T (fig. 8).



— Figure 8 : Principe de la mesure GPS par pseudo-distances.

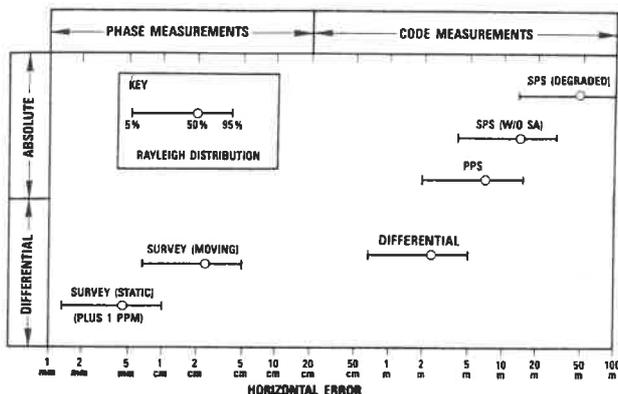
Avec 3 satellites et la connaissance de l'altitude du récepteur, on peut déduire la position planimétrique du récepteur (mode 2D + T).

Avec 2 satellites seulement, connaissant l'altitude du récepteur et disposant d'un temps de référence stable, on peut déterminer la position planimétrique (mode 2D).

La qualité des recoupements est caractérisée par un facteur de dilution de précision : GDOP pour le mode 3D + T. Lorsque la constellation définitive sera en place, ce GDOP sera en général meilleur que le seuil critique de 6 au-delà duquel la dégradation de la précision est importante.

— Une mesure plus fine est donnée par la valeur de la phase de battement entre la fréquence reçue du satellite (reconstruite après soustraction de la modulation du code) et la phase générée par le récepteur. Cette mesure est affectée d'une ambiguïté d'un nombre entier de cycles qui, traduite en distance est de 20 cm sur  $L_1$ . Le bruit sur les phases est de  $5 \cdot 10^{-3}$  cycles soit 1 mm.

La mesure sur la phase seule nécessite un traitement différentiel entre plusieurs récepteurs et ne fournit pas une position absolue. Les différentes techniques utilisées (mesures sur plusieurs satellites, sur plusieurs récepteurs, à plusieurs époques) pour s'affranchir des biais d'horloge, d'orbite et des ambiguïtés sur les phases initiales, sont employées pour la géodésie. Mais le suivi des phases permet également de filtrer les mesures de pseudo-distances avec une précision relative remarquable. A titre d'exemple, le roulis d'un navire est nettement observé sur la figure 9.



— Figure 9 : Mise en évidence du roulis par un récepteur GPS SERCEL TR5S.

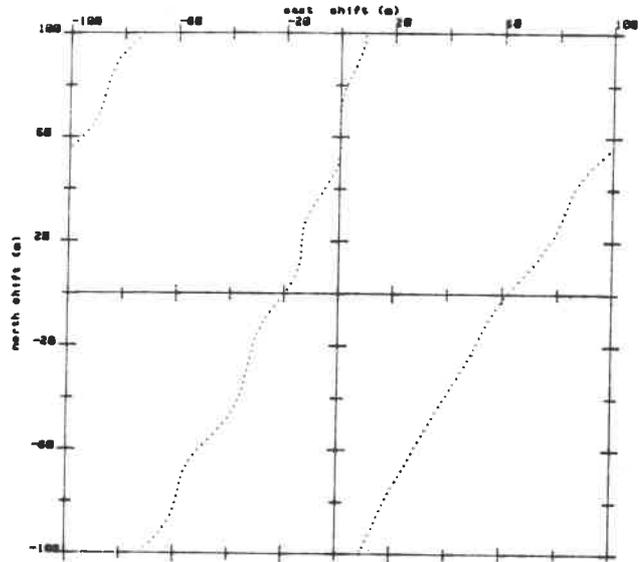
— Dernière mesure possible, celle du Doppler sur les porteuses. C'est alors la même technique que celle mise en œuvre pour TRANSIT.

• Actuellement, tous les utilisateurs ont accès aux deux cordes C/A et P. Cependant, avec les satellites du prochain bloc (bloc II), le DOD aura la possibilité de contrôler l'usage fait du système et ce par deux moyens :

— le S.A (selective availability) qui est une dégradation volontaire du code C/A par bruitage de l'horloge et surcodage des éphémérides ;

— l'A.S (l'antispoofing) qui est un chiffrement du code P (qui devient Y) et n'est alors accessible qu'aux possesseurs d'une clé de décodage fournie par le DOD.

Les performances que l'on peut obtenir sont indiquées sur la figure 10. Le tableau est divisé en 4 parties suivant le type de mesure (phase ou code) et le type de résultats (absolus ou relatifs), 6 niveaux de base seront proposés lorsque GPS sera opérationnel : pour chacun d'eux la précision est représentée par une distribution relative à l'échelle horizontale. Sauf dans le cas du SPS (Standard Positioning Service) avec mise en œuvre du S.A, tous les résultats présentés ont été vérifiés expérimentalement sur la constellation probatoire : (les chiffres relatifs à la précision verticale sont environ 1,5 fois plus grands) :



— Figure 10 : Précision des points GPS.

— mode SPS avec S.A : précision horizontale de 100 m à 95 % ;

— mode SPS sans S.A (c'est le code C/A actuel) : précision horizontale de 30 m à 95 % ;

— mode PPS (Precise Positioning Service) : précision horizontale de 16 m à 95 % ;

— les deux modes différentiels sur les phases sont relatifs à la géodésie, la précision horizontale variant de 1 mm à 5 cm suivant l'éloignement du récepteur de référence et la vitesse du mobile. Les résultats sont alors disponibles en temps différé.

— le mode différentiel sur les codes permet une précision absolue de 5 m à 95 %. Il peut fonctionner en temps réel si la station de référence retransmet par liaison HF, à haute cadence, les corrections à appliquer sur les pseudo-distances. Même avec la mise en œuvre du S.A, ce mode différentiel sera performant jusqu'à des distances de 500 km de la station de référence. Au-delà, pour obtenir une localisation précise en temps réel, il faudra avoir accès au mode PPS.

**3** - Ce bref descriptif des possibilités du système GPS, de la politique américaine et des moyens mis en œuvre montre la formidable capacité qu'il représente pour la navigation et la géodésie. Malgré ces atouts, il présente aux yeux de plusieurs utilisateurs potentiels des défauts qui font qu'il n'est pas encore adopté comme outil unique des moyens de navigation future.

Plus précisément, il subsiste divers problèmes :

— *l'intégrité du service* : GPS est avant tout un système militaire et bien qu'abondamment documenté et d'accès offert aux civils, géré par un seul état. Du fait que les activités aéronautiques et maritimes sont internationales, le choix d'un moyen de navigation présuppose une large concertation pour s'assurer que le contrôle et que la mise en œuvre soient compatibles avec les souverainetés nationales.

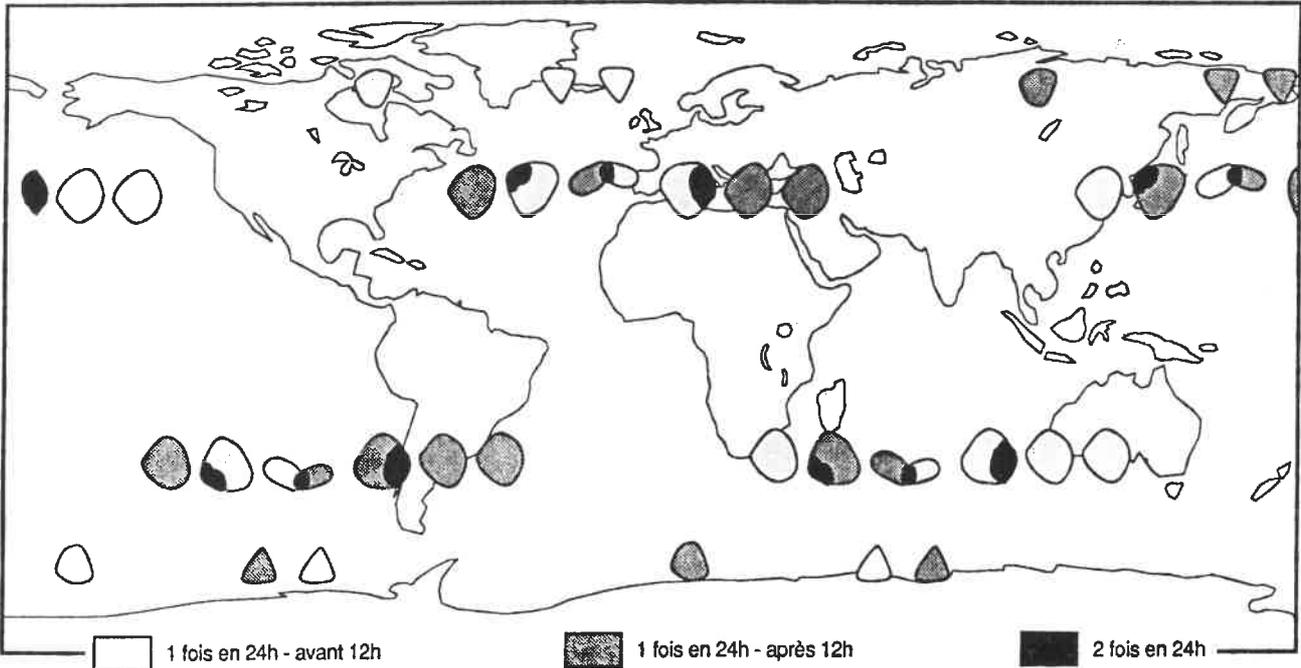
— *la continuité du service* : Avec la constellation définitive, des "trous" dans la localisation peuvent apparaître lorsque moins de 4 satellites sont visibles ou lorsque la dilution géométrique de précision

est trop importante pour garantir une précision satisfaisante dans les 3 dimensions. Des trous, d'une durée de 30 à 35 mn, peuvent apparaître une ou plusieurs fois par jour (fig. 11) et un mauvais fonctionnement d'un ou plusieurs satellites aggraverait considérablement la situation. Ce défaut est en particulier fort dommageable dans une perspective d'utilisation de GPS pour le contrôle aérien.

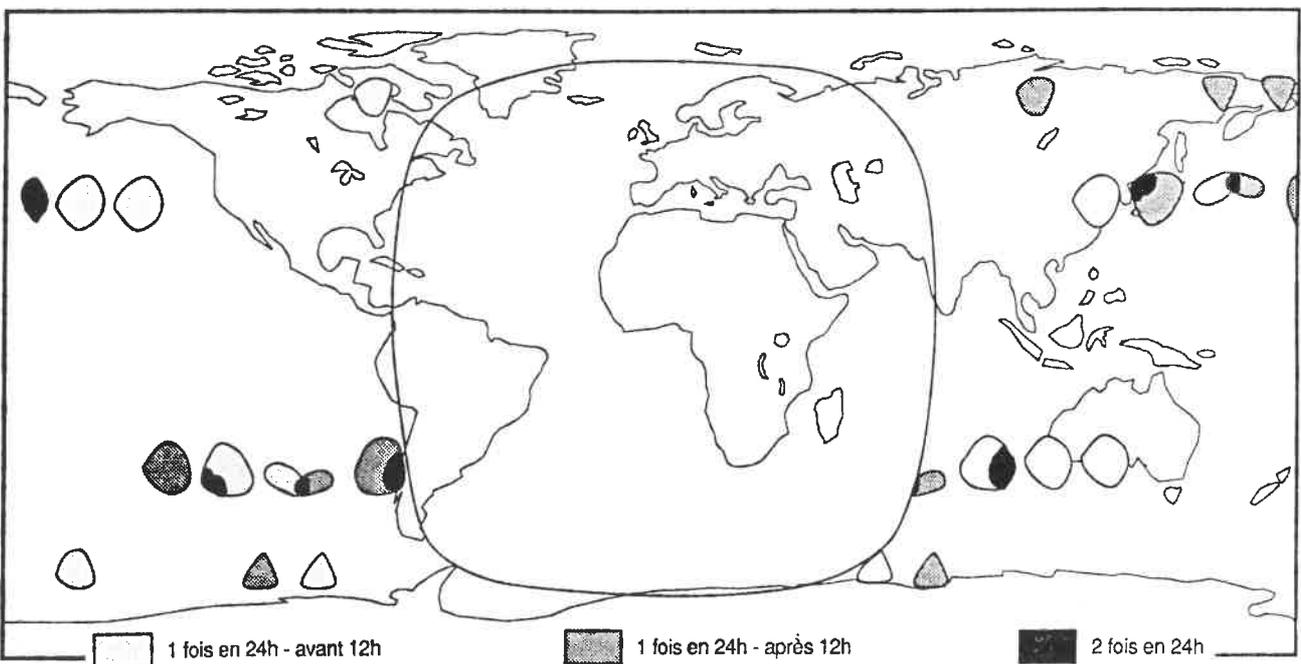
On peut pallier ces inconvénients, au moins partiellement, soit :

- en couplant GPS avec une autre système tel que LORAN ou une centrale à inertie, ou encore un pseudolite (pseudo satellite GPS qui émet depuis la terre en VHF un signal compatible avec ceux de GPS) ;

- en profitant de l'avantage de l'existence de GPS en le complétant localement pour diminuer les problèmes de continuité et d'intégrité précédemment évoqués. Le CNES étudie ainsi la possibilité d'installer à bord d'un satellite géostationnaire déjà programmé, un répéteur d'informations transmises depuis une station de contrôle au sol en bande C ou KU (peu sensibles aux perturbations atmosphériques). Le message relayé concernerait l'état observé de la constellation et comprendrait un signal de navigation compatible avec le format de mesure GPS qui compléterait ainsi la constellation. Un seul satellite géostationnaire situé par 0° de longitude suffirait à éliminer les trous précédemment signalés en zone Atlantique (fig. 12).



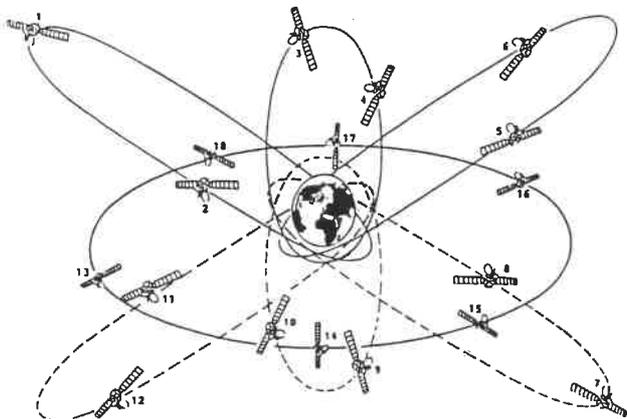
- Figure 11 : Défauts dans la couverture GPS.



- Figure 12 : Apports d'un pseudo satellite GPS géostationnaire.

4 - Si la solution proposée par le CNES répond à certaines des critiques formulées à l'encontre de GPS (continuité, intégrité, contrôle), d'autres aspects que l'on voudrait prendre en considération (tels que la fonction messagerie) ou mieux maîtriser (comme le coût des récepteurs : un système civil n'exige pas la sophistication du système GPS militaire où les contraintes dynamiques et de résistance à la contre-mesure sont sévères) font que des études sont menées en Europe en particulier, pour rechercher une solution peu (?) onéreuse, internationale, se substituant à GPS. Par exemple, la RFA a développé le concept GRANAS qui ressemble passablement au système GPS ou l'ASE NAVSAT. Je ne vais pas ici détailler l'évolution de ces systèmes spatiaux depuis les premières études de faisabilité, mais je vais rapidement présenter le dernier concept de l'ASE regroupant NAVSAT et GRANAS en un seul projet.

La constellation définitive comprend 6 satellites géostationnaires et 12 satellites défilant sur une orbite fortement elliptique. L'intérêt d'une telle configuration est la possibilité d'un déploiement progressif ou limité à une partie du monde : par exemple, avec 2 satellites géostationnaires et 3 elliptiques, on couvre l'Atlantique Nord et avec 2 géostationnaires de plus, le Pacifique (fig. 13).



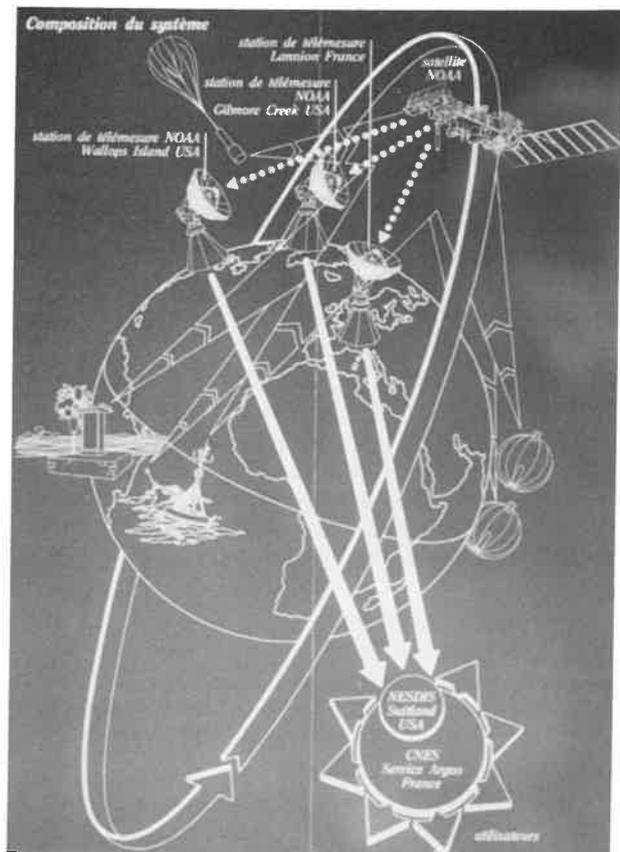
— Figure 13 : Constellation NAVSAT.

Chaque satellite émet séquentiellement, suivant un cadencement prédéterminé, un code pseudo-aléatoire sur des fréquences analogues à celles de GPS. La mesure peut être soit une pseudo-distance et la précision est comparable à celle du code P de GPS, soit un Doppler sur la fréquence transmise. Les créneaux de temps non utilisés par les satellites pour la fonction LOCALISATION sont mis à profit pour assurer le service messagerie.

Cette partie de mon exposé consacrée aux systèmes spatiaux de navigation ne serait pas complète si je n'indiquais pas les moyens mis en œuvre par les Soviétiques TSIKADA et GLONASS, frères jumeaux de TRANSIT et GPS.

## SATELLITES DESTINES AU POSITIONNEMENT

Cette deuxième catégorie de satellites concerne le positionnement d'objets divers et pour lesquels



— Figure 14 : Principe du système ARGOS.

il n'est pas besoin que le mobile ait connaissance du résultat de la localisation : ces programmes spatiaux assurent à côté de la fonction localisation, la transmission de messages relativement courts.

1 - Premier système opérationnel pour la localisation accompagnée de la collecte de données, Argos résulte d'une coopération franco-américaine qui fonctionne depuis 1978.

Il utilise deux satellites météorologiques TIROS de la NOAA, qui décrivent des orbites typiques de satellites d'observation de la terre, c'est-à-dire quasi polaires, héliosynchrones et circulaires. Sur ces deux satellites, le segment spatial ARGOS est embarqué en passager (fig. 14).

Une balise ARGOS émet à la fréquence 401,6 MHz pendant une seconde un signal modulé par un message qui identifie la balise et contient (éventuellement) les données collectées. L'émission est reprise, selon une cadence propre à chaque balise, toutes les 40 à 60 secondes (ramenés à 100 ou 200 s si la localisation du mobile n'est pas nécessaire). Chaque balise est en vue d'un satellite TIROS de 6 à 28 fois par jour.

L'instrument embarqué à bord de TIROS est un récepteur qui capte les émissions des balises en visibilité suivant un accès aléatoire. En effet, les messages des différentes balises sont répartis dans le temps grâce à la non synchronisation des émetteurs et à l'utilisation de périodes de répétition aléatoires, et répartis en fréquence puisque le Doppler relatif résulte d'une répartition géographique aléa-

toire des plates-formes vis-à-vis du satellite. L'instrument ARGOS peut ainsi traiter simultanément 1 000 plates-formes (200 si la localisation est demandée).

Les données enregistrées sont transmises aux stations de collecte, qui relaient vers le centre NOAA de Washington où les messages propres à ARGOS sont séparés et relayés au centre de traitement du CNES à Toulouse.

Là, la localisation des plates-formes est calculée à partir des mesures du décalage Doppler sur la fréquence des messages reçus : les messages sont décodés et transmis à l'utilisateur dans un délai de 1 h 45' à 3 h 30'.

Une balise ARGOS est un instrument modeste par son poids, sa consommation en électricité et son coût. De ce fait, les applications sont nombreuses et le service ARGOS indiquait en 1986 qu'il y avait 2 400 plates-formes enregistrées et 900 en opération.

Les balises sont bien adaptées à la collecte d'informations météorologiques ou océanographiques (60 % des applications) et au suivi sur de longues périodes de plates-formes dérivantes (migration d'animaux, estimation de la circulation lagrangienne, contrôle de navires...).

La précision de localisation est meilleure que le kilomètre (meilleure que 500 m dans 95 % des cas si la stabilité de l'oscillateur est suffisante). Un service nouveau permet d'obtenir au point fixe une position en relatif à 50 m près, ce qui est estimable eu égard à la modicité de l'appareillage.

**2 - Un dérivé remarquable d'ARGOS est le système SARTS COSPAS, fruit d'une concertation entre Français, Américains, Canadiens et Soviétiques.**

Il est destiné à la localisation des appels de détresse. Les satellites utilisés sont les TIROS de la NOAA complétés par les COSPAS Soviétiques. Initialement, le système fonctionnait sur les fréquences 121,5 MHz et 243 MHz qui sont réservées à l'envoi de messages de détresse civils et militaires, mais l'emploi de la fréquence 406 MHz est appelé à se généraliser.

En cas de détresse, une balise émet 0,5 s toutes les 50 secondes et ce, pendant 24 heures. Sur 121,5 MHz, le signal est retransmis par le satellite directement vers une station de collecte. A 406 MHz, il est possible d'enregistrer ce signal à bord du satellite jusqu'à ce qu'il soit en visibilité d'une station de réception (la probabilité de détection au 1<sup>er</sup> passage d'un satellite est alors de 98 % et celle de localisation de 90 %).

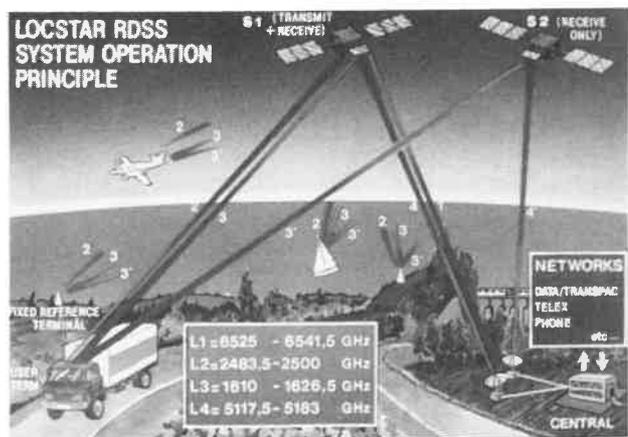
La précision de localisation est modeste (5 km à 406 MHz et 17 km à 121,5 MHz) mais ce qui compte avant tout dans un tel système, c'est la sûreté de fonctionnement d'un ensemble mondial de satellites, de stations de réception et de milliers de balises de diverses nationalités.

**3 - Après cette parenthèse, je vais revenir sur les critiques qui sont faites d'ARGOS. Le défaut principal est de ne proposer qu'une localisation discon-**

tinue et relativement modeste en précision : en outre, le service messagerie est à sens unique du mobile vers une base. Deux systèmes GEOSTAR aux Etats-Unis et LOCSTAR en France sont à l'état de projet avancé et proposent un service performant répondant aux critiques des utilisateurs d'ARGOS, et permettant d'élargir pour de nombreuses applications nouvelles le club des utilisateurs de moyens spatiaux.

- Les systèmes LOCSTAR et GEOSTAR comprennent 3 fonctions : radiolocalisation, radionavigation et messagerie.

La position est obtenue par la mesure des distances du mobile à deux satellites géostationnaires (fig. 15). Si l'altitude du mobile est connue à 5 mètres près, la précision du positionnement horizontal est d'environ 10 m aux latitudes moyennes (un peu moins bonne en latitude au voisinage de l'équateur).



— Figure 15 : Principe des systèmes LOCSTAR et GEOSTAR.

La donnée d'altitude peut être fournie par un altimètre (cas des avions) et/ou résulter d'un MNT pour les mobiles terrestres et maritimes.

Toutes les distances sont déterminées dans un mode différentiel par rapport à des stations de référence situées dans la même zone que le mobile : on élimine ainsi les erreurs liées à la propagation et à la localisation du satellite.

Avec un 3<sup>e</sup> satellite géostationnaire, il serait également possible de déterminer l'altitude des objets, mais la précision serait hectométrique.

- Le système est gourmand en fréquences (4 gammes 6,5 - 2,5 - 5,1 et 1,6 GHz) et si GEOSTAR s'est vu attribuer l'autorisation de les utiliser, pour LOCSTAR les pourparlers sont en cours.

- Le processus complet de mesure dure 0,6 s. Le central diffuse une base de temps qui est relayée par un des satellites vers les mobiles. Après synchronisation sur cette base de temps, les mobiles émettent à leur tour et leur réponse est relayée vers le centre de traitement par les deux satellites.

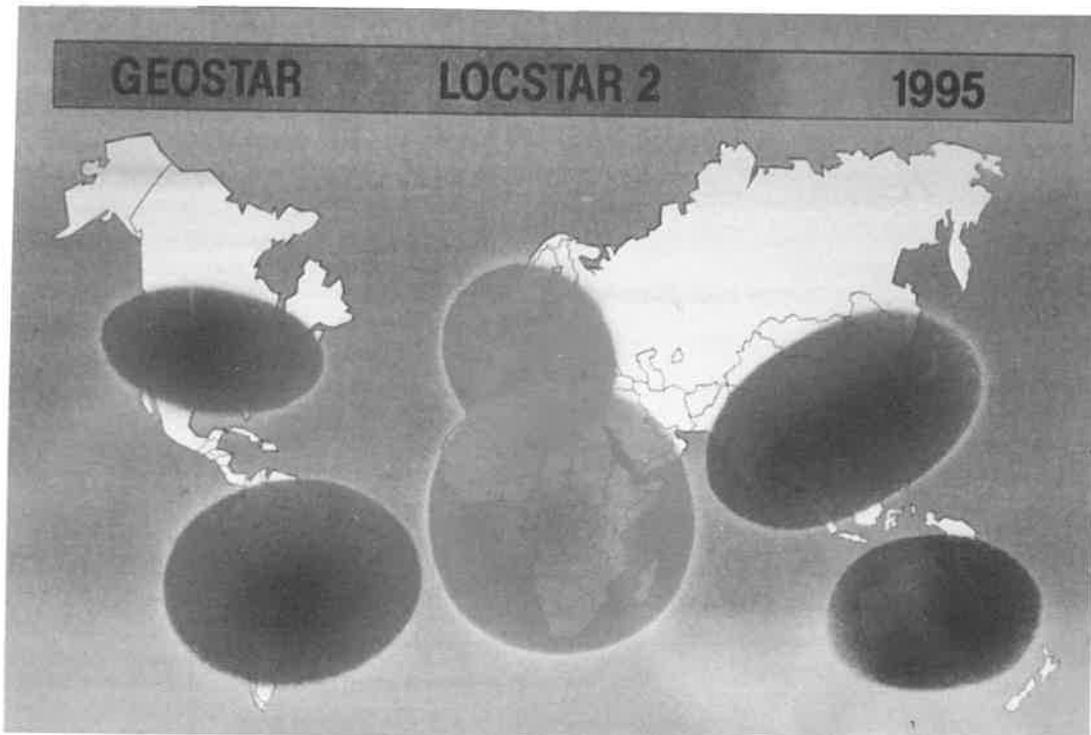
Les transmissions sont faites en utilisant des codes pseudo-aléatoires et les constantes de retard sont propres à chaque mobile. La position est calculée par le central d'après le temps de réponse des mobiles au message de synchronisation. La position et un message sont transmis par le central vers le mobile et/ou sa base : le mobile accuse réception et émet à son tour un message d'une centaine de caractères.

- LOCSTAR 1 permettra en 1991 d'adresser 500 000 mobiles par heure en Europe et Moyen-

Orient. GEOSTAR (dont le premier satellite a été mis en orbite par ARIANE le 11 mars 1988) couvrira dans le même temps l'Amérique du Nord.

Dans une deuxième étape (1995), LOCSTAR 2 et GEOSTAR permettront d'adresser 40 millions d'abonnés dans les zones indiquées en figure 16.

Les principes de LOCSTAR et de GEOSTAR sont suffisamment simples tant pour le segment spatial que pour les utilisateurs, pour que les perspectives qu'ils ouvrent soient considérables.



— Figure 16 : Couverture des projets LOCSTAR et GEOSTAR.

## CONCLUSION

Dans un tableau final, j'ai rassemblé les moyens de localisation spatiaux actuels et futurs que j'ai présentés au cours de cet exposé et dont j'ai discuté les évolutions et l'adéquation aux besoins. J'ai, en outre, indiqué quelques projets utiles pour résoudre le problème général de la navigation.

Ainsi, le navigateur peut-il trouver une aide à travers les satellites altimétriques par exemple, dont la décision de lancement est motivée par des besoins géophysiques ou océanographiques. La mesure de l'altitude du satellite au-dessus d'un océan permet, connaissant la position du satellite, de définir une surface instantanée qui est la somme du géoïde et des composantes océanographiques (marée, houle, courants) ; une bonne connaissance du géoïde permet une meilleure précision des éphémérides prédites et est souvent nécessaire au navigateur pour initialiser ses récepteurs : celle des composantes océanographiques peut être utilisée pour le routage des navires.

Les satellites d'observations eux, ont pour objectif d'améliorer la connaissance de l'environnement

en acquérant des données cartographiques ou des paramètres physiques sur une grande échelle.

Une attention particulière aurait pu être appelée sur le projet de détermination précise d'orbite DORIS : non seulement, il permettra dès 1989 de connaître la trajectoire des satellites sur lesquels il sera embarqué, avec une précision meilleure que le mètre, en faisant référence à un réseau mondial de balises terrestres, mais on pourra compléter temporairement ce réseau d'orbitographie par des balises dont la position sera à son tour calculée en absolu avec une précision décimétrique à l'échelle du globe.

Je n'ai bien sûr plus le temps de développer la présentation de ces différents projets, mais je pense qu'il était nécessaire de les évoquer dans la mesure où les différents satellites de localisation sont des outils dont l'utilisation optimale passe, aussi, par une bonne connaissance de l'environnement géophysique.

<b>SATELLITES DE NAVIGATION</b>	opérationnels : TRANSIT/TSIKADA en développement : GPS - GLONASS en projet : NAVSAT - GRANAS
<b>SATELLITES DE POSITIONNEMENT</b>	opérationnels : ARGOS - SARSAT en développement : GEOSTAR - LOCSTAR
<b>EXEMPLES DE PROJETS SPATIAUX CONCERNANT LA NAVIGATION :</b>	
Altimètres : SEASAT - GEOSAT - TOPEX/POSEIDON - ERS1...	
Observation : METEOSAT - TIROS - LANDSAT - SPOT - ERS1...	
Détermination d'orbites : DORIS - PRARE...	

**Quelques références bibliographiques**

— **B. Schrumpp**

“Localisation par satellites - Situation actuelle et perspectives”.  
Rapport de synthèse n° 9 du Colloque FI3G - 1987.

— **A. Fourgassie**

“Emploi du GPS en hydrographie”.  
Actes du 3<sup>e</sup> Colloque National sur la Localisation en Mer - 1988.

— **G. Frachon - D. Hernandez**

“LOCSTAR : un système de radiorepérage par satellites”.  
Actes du 3<sup>e</sup> Colloque National sur la Localisation en Mer - 1988.

— **P. Paquet**

“Les systèmes Transit et GPS”.  
Série géophysique n° 146 de l'observatoire royal de Belgique - 1984.

— **T.A. Stansell**

“GPS perspectives”.  
International Navigation Congress - Sydney - 1988.

— **G. Ploeger et all.**

“The european proposal of a civil satellite - based system for integrated navigation and communication”.  
International Navigation Congress - Sydney - 1988.

— **G. Nard - G. Bonin**

“Différentes méthodes d'applications de GPS différentiel et résultats d'essais”.  
Document SERCEL présenté à la journée SEE section 23 du 11.2.87.

Certaines figures ont été empruntées à ces articles ainsi qu'à des dépliants réalisés par WILD HEERBRUGG ; SERCEL, le CNES.

Eagle

Le récepteur  
GPS / NAVSTAR

1 SEUL EQUIPEMENT  
5 APPLICATIONS

- Navigation directe
- Navigation différentielle
- Positionnement géodésique
- Tracking
- Mesure de temps



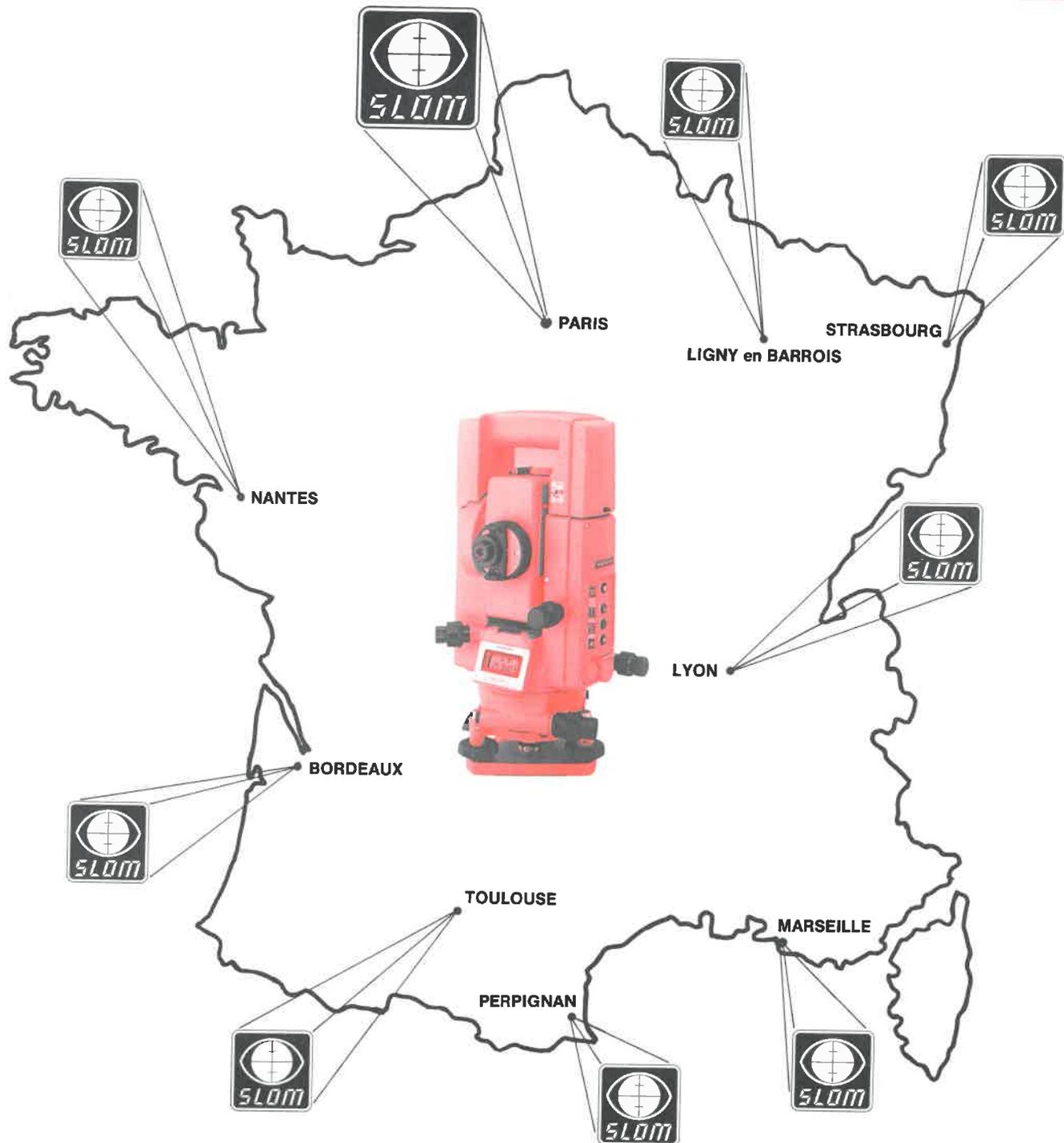


STERNE S.A.

22, rue de Lourmel - 75015 PARIS - Tél. : (1) 45.75.62.72  
Télex : 200168 F STERNE - Fax : (1) 45.79.07.24

Distributeur exclusif MOTOROLA

Ascendance Graphique



## SLOM A VOTRE SERVICE

**BORDEAUX** : ESSILOR-SLOM AQUITAINE  
 Parc Industriel de Pessac, rue Monge  
 I.P. 19 Alouette - 33601 PESSAC  
 Tél. : 56 36 44 05 - Poste 441

**LIGNY-EN-BARROIS** : ESSILOR  
 Usine de la Compasserie  
 5500 LIGNY EN BARROIS  
 Tél. : 29 45 21 11

**LYON** : ESSILOR-SLOM RHONE-ALPES  
 5, rue Louis Saillant, Z.A. Est  
 69120 VAULX-EN-VELIN  
 Tél. : 78 80 93 94 - Poste 340

**MARSEILLE** : FABRE Mesurelec  
 48, rue de la République - 13002 MARSEILLE  
 Tél. : 91 90 01 19

**NANTES** : ESSILOR-SLOM BRETAGNE  
 Avenue de Belgique  
 Zone Industrielle de Carquefou  
 Case postale 607 - 44081 NANTES cedex 03  
 Tél. : 40 30 30 77

**PERPIGNAN** : PRECISION-LABO  
 31, Bd Félix Mercader  
 66000 PERPIGNAN  
 Tél. : 68 34 36 27

**STRASBOURG** : ESSILOR-SLOM ALSACE  
 Parc d'activité des Tanneries  
 4, C. du Tanin - 67380 LINGOLSHEIM  
 Tél. : 88 76 18 28

**TOULOUSE** :  
 ESSILOR-SLOM MIDI-PYRÉNÉES  
 13, av. Didier Daurat, Parc Aéroportuaire  
 B.P. 56 - 31702 BLAGNAC cedex  
 Tél. : 61 30 06 06

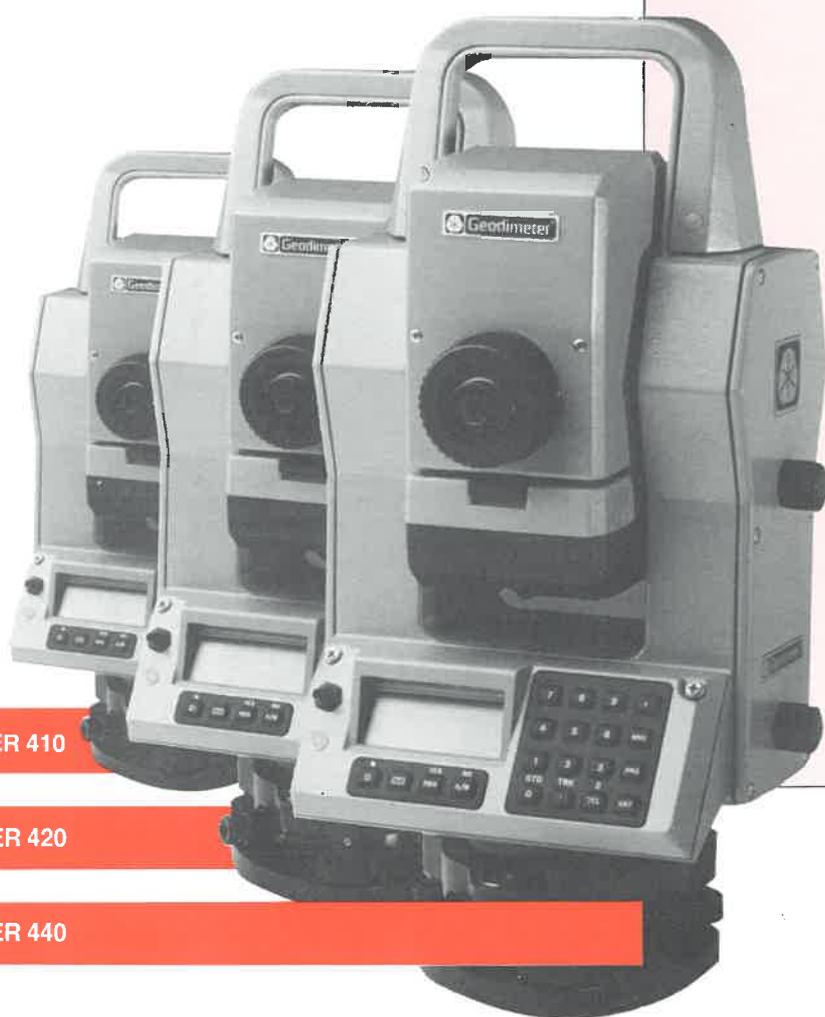
**PARIS** : SLOM - 11 bis, rue du Perche - 75003 PARIS - Tél. : (1) 42 71 28 30

TOPCON



ZEISS

# *Vous pouvez investir en dans une station totale*



GEODIMETER 410

GEODIMETER 420

GEODIMETER 440

## **LA TRADITION « AGA »**

Vous connaissez depuis longtemps les instruments AGA comme étant des instruments performants et robustes. Il n'est pas rare en effet, de trouver encore sur le terrain des appareils qui assurent un service permanent depuis 10 à 15 ans. Aujourd'hui, les GEODIMETER qui sont leurs héritiers ont été également conçus pour assurer un service optimum sur le terrain

## **LA LIBERTE DU CHOIX**

En fonction du type de travail que vous effectuez, polygonation, relevé, implantation, positionnement industriel, vous n'attendez pas de votre instrument les mêmes performances.

Dans la série 400, 3 modèles sont à votre disposition :

GEODIMETER 410 - Précision angulaire 10 cc, portée 2 200 m

GEODIMETER 420 - Précision angulaire 6 cc, portée 3 100 m

GEODIMETER 440 - Précision angulaire 4 cc, portée 4 300 m

Le 410 et le 420 assurent une précision de distance de

+/- (5 mm + 5 ppm).

Le GEODIMETER 440 assure une précision de distance de

+/- (3 mm + 3 ppm).

## **L'EVOLUTION, CONCEPT DE BASE**

Pour les instruments de la série 400 nous avons conçu un système nouveau qui garantit à votre instrument la possibilité d'évoluer avec le temps.

Pour cela nous avons créé une série de logiciels modulaires qui pourront être implantés dans votre instrument même après l'achat.

Ces logiciels vous permettront notamment : (1)

- de créer vos propres séquences de mesures et cela, directement du clavier de l'instrument
- de voir, contrôler, corriger et éditer les données enregistrées sur votre instrument
- de calculer et rappeler les données pour implantation directement du GEODAT

*Les trois Geodimeter  
de la série 400  
offrent des solutions  
souples, évolutives,  
fiables.*

# toute sécurité



— de coder vos points directement du clavier  
 (1) La totalité des options n'étant pas réalisable sur tous les modèles vous pouvez demander les notices détaillées ou faire appel à un technicien de la société GEOTRONICS qui vous conseillera utilement et sans engagement.

## EN COMPLEMENT, LES POSSIBILITES D'UN ENREGISTREUR ELECTRONIQUE...

Le carnet électronique GEODAT bien connu des géomètres est le plus vendu sur le marché. Le GEODAT 126, est prévu pour être connecté sur la plupart des logiciels topo du marché ainsi que le nouveau GEODAT 400 complément idéal des GEODIMETER de la série 400.

## ... ET SANS AVOIR BESOIN DE 4 MAINS

Avec le GEODAT 400 nous avons voulu vous simplifier encore la vie. C'est ainsi que sur le terrain, alors que vous devez vous soucier de multiples choses à la fois, vous pourrez désormais effectuer toutes vos manipulations, enregistrements de données et calculs directement sur l'instrument. En effet, le dernier GEODAT, le GEODAT 400 ne comporte qu'un seul bouton ON/OFF et tout le reste s'effectue sur le clavier de votre GEODIMETER série 400, dans le GEODIMETER 440 vous pouvez aussi avoir une mémoire interne.

## LE TRACKING

Sous cette appellation que nous avons inventée pour un travail simple et rapide, vous trouverez toujours sur nos GEODIMETER série 400 la possibilité d'effectuer une nouvelle mesure toutes les 0,4 secondes.  
 Pour relever le maximum de points dans un minimum de temps, on n'a encore rien trouvé de mieux.

## LE TRACKLIGHT

Ce faisceau visible qui simplifie la vie lors de l'implantation est toujours à votre disposition.

## L'UNICOM

Cette méthode de communication unidirectionnelle entre l'instrument et le porte-prisme continuera également à vous faciliter la visée et l'implantation.

## ET DES SERVICES CRUCIAUX: L'ASSISTANCE ET LE S.A.V.

Nous sommes conscients de l'importance que revêtent pour vous l'assistance technique, les interfaçages et le service après-vente pour de nombreuses années. Nous ne nous disons pas infailibles, mais nous disposons d'une organisation sérieuse et nous avons la volonté de faire de notre mieux pour satisfaire les besoins de nos clients. Vous serez là demain, nous y serons aussi.

*Prenez votre décision aujourd'hui et bénéficiez de nos offres spéciales*

Valables jusqu'au 31/10/88

Interrogez-nous en utilisant le téléphone ou la télécopie ou bien en nous retournant le coupon prévu à cet usage. Nous prendrons contact avec vous ou nous vous adresserons les renseignements que vous désirez.

## LES PROGICIELS DU SYSTEM 400

<b>UDS400</b> Le progiciel qui vous permet entre autre, à partir du clavier de l'instrument, de programmer vous-même 20 séquences de mesure et/ou de saisie.	<b>View 400</b> Un progiciel qui vous permet de rappeler et contrôler sur l'écran de l'instrument les données stockées en mémoire.	<b>Edit 400</b> Un progiciel qui vous donne la possibilité de rechercher, rappeler sur l'écran de l'instrument contrôler et modifier les données stockées dans l'une quelconque des mémoires.	<b>Pcod 400</b> Un progiciel qui vous permet d'entrer votre propre liste de codes de points dans la mémoire de l'instrument de mesure.
<b>Set-Out 400</b> Un progiciel pour le calcul et le contrôle des données d'implantation sur le terrain.	<b>Geodat 400</b> Mémoire externe puissante pour Geodimeter System 400, avec capacité de mémoire correspondant à environ 1500 points de mesure.	<b>Internal Memory 400</b> Mémoire interne pour le stockage de données brutes, de numéros de points et de coordonnées sur le Geodimeter 440.	<b>Geodimeter 410</b> Le modèle le plus récent dans la série Geodimeter System 400. Le Geodimeter 410 a une intelligence et une puissance que seuls surpassent les deux autres modèles de la gamme, le 420 et le 440.



Parc d'Activités - Les Portes de la Forêt  
 Allée du Clos des Charmes  
 7090 COLLEGIEN  
 tél. : (1) 60 05 13 14  
 télex : 693099  
 télécopie : (1) 60 17 40 56

**COUPE A RETOURNER A LA SOCIETE GEOTRONICS**

..... Cabinet ou entreprise

Je souhaiterai des informations sur :

le GEODIMETER 410

le GEODIMETER 420

le GEODIMETER 440

le GEODAT 400 / 126

les PROGICIELS

Je souhaiterai être contacté par un technicien de la société GEOTRONICS

Nom ..... Adresse ..... Téléphone .....

DECOUVRIR 48 48 99 87

# UN NOUVEAU STANDARD EN MATIERE DE TOPOGRAPHIE GPS



# ASHTECH

ASHTECH XII

LE GPS TOUT D'UNE PIECE  
QUI FAIT FEU TOUS AZIMUTS

Le récepteur Ashtech XII et tous ses accessoires, rangés dans un sac compact, peuvent être portés d'une seule main.

Le récepteur GPS de topographie **Ashtech XII** constitue la nouvelle référence en matière de précision, maniabilité et simplicité de mise en œuvre.

**La mise en œuvre entièrement automatique** élimine la nécessité de toute programmation, ou pré-programmation. Mais le mode manuel reste disponible.

**Bi-fréquence** : douze "supercanaux" physiques indépendants, en bande L1 et L2.

Topographie **statique** et **cinématique**, et navigation terrestre, marine et aérienne.

**Mémoire interne jusqu'à 2 Mégaoctets** en version de base. Une cassette interne optionnelle porte la capacité jusqu'à 20 Moct.

**Un post-traitement "compact"** utilise automatiquement la phase de porteuse datée avec précision, le doppler intégré, les indicateurs d'état et la phase du code (lissée par le doppler intégré et la phase de porteuse). Pas d'intervention demandée à l'opérateur.

ASHTECH XII EST VENDU EN EUROPE PAR SAGEM,  
1, rue Louis Meunier - BP 215, 92002 NANTERRE CEDEX  
Tél. : (1) 42.91.20.20 - Téléc. : 610324F - Fax : (1) 40.70.67.75

Pour tous renseignements, contacter M. Neuillet ou M. Chenière



# Le système de radionavigation "GPS-NAVSTAR"

par l'Ingénieur en Chef de l'Armement Nicolas de CHEZELLES  
(Ministère de la Défense, Délégation aux Relations Internationales)

## Résumé

Le système GPS-NAVSTAR est un système de radionavigation utilisant un réseau de satellites répartis sur 6 orbites circulaires à 20 000 kilomètres d'altitude.

Une constellation limitée composée de satellites de 1<sup>re</sup> génération fournit dès aujourd'hui des prestations de positionnement, de navigation et de synchronisation, plusieurs heures par jour.

La constellation opérationnelle doit être mise en place progressivement à partir d'octobre 1988, en vue d'un service opérationnel total début 1991.

Cet exposé, après un bref rappel sur les caractéristiques essentielles de ce système, présentera l'état d'avancement du projet, en s'appuyant notamment sur les informations recueillies au cours du dernier Comité Directeur du programme OTAN-GPS-NAVSTAR, tenu à Londres les 15-16-17 mars 1988.

L'ICA Nicolas de Chezelles travaille au Ministère de la Défense, à la Délégation aux Relations Internationales, et assure la présidence du Comité Directeur OTAN-GPS-NAVSTAR depuis 1984.

## 1 - FONCTIONS ET SERVICES DU SYSTEME "GPS-NAVSTAR"

Le système "GPS-NAVSTAR" est un système de radionavigation offrant des services de positionnement, de navigation et de synchronisation.

Le Service de Positionnement Standard (SPS) est un service ouvert au grand public, sans restriction. La précision de positionnement est de l'ordre de 200 mètres dans 50 % du temps. Cette précision est modifiable par commande au sol.

Le Service de Positionnement Précis (PPS) est un service réservé aux usagers militaires autorisés. La précision de positionnement est de l'ordre de 15 mètres dans 50 % du temps. L'accès est contrôlé et astreint à des mesures de chiffrement.

Les usagers du service PPS ont accès à une information de vitesse sur Trajectoire avec une précision de l'ordre de 0,1 m/s dans 50 % du temps.

Tous les usagers ont accès à un service de synchronisation (Precise Time and Time Intervals) d'une précision de l'ordre de 100 ns, calé sur le Temps Universel Coordonné (TUC).

Par ailleurs, il convient de signaler des caractéristiques originales telles que :

- une couverture continue et globale ;
- une haute résistance au brouillage (intentionnel ou accidentel) ;

— une surveillance permanente de l'état du système ;

— une grille de référence géographique universelle et unique.

Enfin il faut signaler les possibilités d'utilisation du signal GPS pour le positionnement fin (géodésie, cartographie, science du globe,...) par intégration et traitement interférométrique.

## 2 - GENERALITES SUR LE SYSTEME

### 2.1 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Une constellation de satellites est utilisée comme autant de balises en vue d'une triangulation par mesures radioélectriques.

— L'ensemble du système est synchronisé.

— Chaque satellite émet un signal numérique répétitif, déterministe, portant une information de position propre.

— Les utilisateurs font des mesures de **distance** par mesure de **temps de propagation** et exploitent les messages informationnels.

— Les utilisateurs font alors des calculs de triangulation.

### 2.2 - ORGANISATION DU SYSTEME

Le système est décomposé en 3 segments. Le "Segment Spatial", le "Segment de contrôle", et le "Segment Utilisateurs".

#### 2.2.1 - Le segment spatial

Le segment spatial, pour la phase opérationnelle, est composé d'une constellation de 18 satellites (plus 3 rechanges actifs) répartis sur 6 orbites inclinées à 55°, à une altitude de 20 000 kilomètres environ. Les satellites, de 2<sup>e</sup> génération, seront mis en orbite à partir d'octobre 1988, par les lanceurs consommables DELTA II et par la navette spatiale suivant le plan de lancement joint en annexe.

Pour valider et tester le concept, une constellation limitée de satellites de 1<sup>re</sup> génération est en place depuis 1979 ; sur 11 véhicules lancés, 10 ont été mis en orbite avec succès, 6 sont encore exploitables, les 4 plus récents resteront probablement utilisables au-delà de 1990.

Chaque satellite émet en permanence des signaux de navigation à 1575 MHz (bande L<sub>1</sub>) de 1227 MHz (bande L<sub>2</sub>), suivant des codes pseudo-aléatoires : un code rapide, désigné P s'il n'est pas chiffré, et Y s'il est chiffré, à 10,23 M bits/seconde, et un code lent, désigné C/A à 1,023 Mbits/seconde.

Ces deux codes sont modulés par un message informationnel à 50 bits/seconde.

L'orthogonalité des codes permet de discriminer les satellites entre eux.

A titre d'ordre de grandeur, les satellites en orbite ont une masse d'environ 800 kg, une puissance électrique disponible de 700 watts en fin de vie, et une durée de vie de plus de 7 ans.

### 2.2.2 - Le segment de contrôle

Le segment de contrôle comprend notamment un réseau de surveillance réparti sur la surface du globe, qui recueille en permanence les données issues des satellites, une station principale installée aux Etats-Unis qui établit la qualité de ces données et en déduit les ordres et corrections à envoyer aux satellites, et les stations de téléchargement.

Par ailleurs, le segment de contrôle fournit un certain support aux utilisateurs, en analysant en temps réel et en diffusant des informations sur la qualité des prestations fournies et sur l'état de santé du segment spatial.

### 2.2.3 - Le "segment utilisateur"

Le "Segment Utilisateur" comprend les quelques dizaines de milliers de récepteurs, civils et militaires, répartis dans le monde entier.

Chaque récepteur comprend les grands sous-ensembles suivants :

- un système antenne, plus ou moins compliqué en fonction des modes de fonctionnement envisagés (interférométrie, résistance au brouillage,...) ;
- un ensemble radio-fréquence : synthétiseur, oscillateur local, démodulateur, filtres passe-bande ;
- un ensemble de traitement vidéo-fréquence : corrélateur, analyseur de phase, boucles de poursuite, mesures Doppler...
- un ensemble de traitement numérique : comptages rapides, calculs géométriques, calculs statistiques, calculs de navigation,...
- un ensemble de gestion et de commande : séquenceurs, interfaces, commandes et visualisations, tests et surveillances.

Selon les conditions d'emploi, les récepteurs sont organisés pour recevoir et exploiter simultanément un ou plusieurs satellites (couramment 1,2 ou 5 canaux de réception).

### 2.3 - CALENDRIER

Les grandes lignes du calendrier figurent sur la planche jointe en annexe.

Les dates "clé", pour les utilisateurs, sont les suivantes :

- depuis 1980, disponibilité des signaux pendant quelques heures par jours ;
- fin 1989, disponibilité des services GPS dans le plan horizontal ;
- fin 1990, disponibilité des services opérationnels GPS.

### 2.4 - CONDITION D'ACCES AUX SERVICES

Ainsi qu'il est indiqué précédemment, le service SPS est accessible à la communauté civile sans aucune restriction.

Le service PPS est accessible aux forces armées et aux services gouvernementaux des pays alliés, et aux utilisateurs explicitement "autorisés". Certains usagers civils pourront être autorisés, au cas par cas, suivant des procédures lourdes et contraignantes.

L'accès au service PPS est protégé par des dispositifs de chiffrement suivant l'organisation suivante :

a) Le "Selective Availability (S.A.) - Ce dispositif introduit un bruit sur l'horloge de bord et un surcodage des éphémérides. Il dégrade la précision de localisation, sans perturber le fonctionnement.

b) Le "Anti Spoofing" (A.S.) - Ce dispositif chiffre le code "P" qui devient "Y". Il interdit l'accès au service PPS, sans clé.

La politique annoncée par la direction de programme est de mettre en œuvre le dispositif "S.A." en permanence, et de mettre en œuvre le dispositif "A.S." occasionnellement et sans préavis.

L'effet de ces dispositifs sur les performances finales, selon que l'utilisateur dispose ou non des clés, est donné dans la planche jointe en annexe.

### 2.5 - ANALYSE DES PERFORMANCES

L'analyse des performances est présentée sous forme de précision sur la mesure élémentaire de distance entre l'utilisateur et chaque satellite, précision exprimée en **mètre**. Le passage de cette précision sur une **distance** à une précision sur une **position** résulte de la résolution géométrique de la triangulation. Cette résolution est purement déterministe, et introduit un simple facteur linéaire entre ces deux types de précision, désigné "facteur géométrique", qui ne dépend que de la configuration géométrique des satellites exploités pour la triangulation (dans la littérature Américaine, "Geometrique Dilution of Precision", ou "GDOP"). Le facteur est de l'ordre de 2 ou 3 pour des géométries favorables, et peut atteindre des valeurs infinies pour des géométries défavorables. Le système est organisé pour fournir un facteur géométrique inférieur ou égal à 6, dans plus de 99 % du temps.

L'analyse systématique des budgets d'erreur est présentée sur les planches jointes en annexe (incertitude sur la mesure de distance, en mètre, à 1 sigma).

### SIGNAUX EMIS PAR LES SATELLITES DU SYSTEME GPS

BANDES D'ÉMISSION		MODULATION			NIVEAU DU SIGNAL RF MINIMUM RECU	
FREQUENCE	MHz	CODE P	CODE C/A	DONNEES	SIGNAL P	SIGNAL C/A
L <sub>1</sub>	1575,42	10,23 Mb/s	1,023 Mb/s	50 bps	-163 dBW	-160 dBW
L <sub>2</sub>	1227,60	10,23 Mb/s	N/A	50 bps	-166 dBW	N/A

### 3 - CONCLUSION

Le système GPS-NAVSTAR introduit de nouvelles dimensions dans la communauté de la navigation et du positionnement :

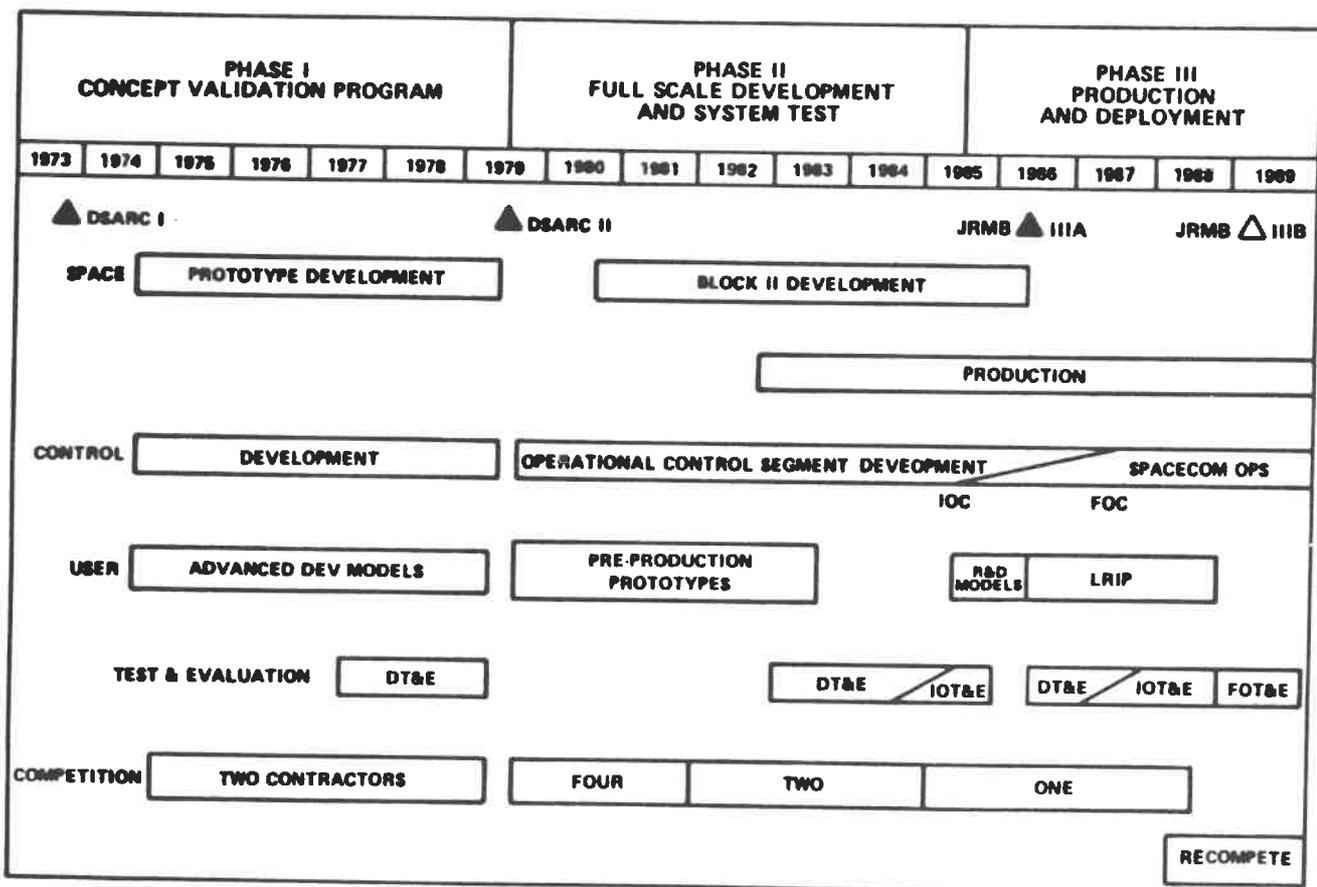
- une dimension de "système de navigation" où l'utilisateur attend un service, sans avoir à se préoccuper des moyens pour l'obtenir ;
- une complexité inégalée, qui s'appuie sur une infrastructure spatiale très importante ;
- des questions nouvelles sur les relations entre les communautés civiles et militaires, liées aux

affaires de sécurité, de disponibilité et de fonctionnement ;

— l'amorce d'une globalisation des systèmes, au niveau planétaire et à finalité multifonction, avec une forte interdépendance dont les vulnérabilités induites devront être analysées ultérieurement.

Enfin, il convient de noter que le système GPS-NAVSTAR constitue un défi à l'industrie face à un produit promis à un très large avenir commercial, mais dépendant de techniques sophistiquées et d'investissements technologiques élevés, dans un contexte concurrentiel débridé.

## GPS PROGRAM EVOLUTION



- UNCLASSIFIED -

**EFFECTS OF SA/A-S ON GPS (U)**

SA	A-S	PRN CODE		NAV MSG	UE PERFORMANCE (SEP)*	
		P(Y)	C/A		KEYED	UNKEYED
Off	Off			Full Accuracy	P - 16M	P - 16M C/A - 30M
Off	On	Encrypted (Y-Code)		Full Accuracy	Y - 16M	C/A - 30M
On	Off			Degraded Accuracy	P - 16M	P - 72M C/A - 76M**
On	On	Encrypted (Y-Code)		Degraded Accuracy	Y - 16M	C/A - 76M**
					PPS	SPS

\* Actual performance dependent on SA level invoked  
 \*\* 76M SEP = 100M 2 DRMS = 44M CEP

UNCLASSIFIED

DELTA II SCHEDULE				SHUTTLE	SCHEDULE
VEHICULE	LAUNCH DATE			VEHICLE	LAUNCH DATE
1	15 OCT. 88			1	5 OCT. 89
2	15 JAN. 89			2	5 OCT. 89
3	1 <sup>er</sup> APR. 89			3	1 <sup>er</sup> MAR. 90
4	1 <sup>er</sup>	JUN.	89	4	1 <sup>er</sup> MAR. 90
5	15	JUL.	89	5	6 SEP. 90
6	1 <sup>er</sup>	SEP.	89	6	10 JAN. 91
7	15	OCT.	89	7	10 APR. 91
8	15	JAN.	90	8	8 JUL. 91
9	1 <sup>er</sup>	MAR.	90		
10-20	1 JUN. 90-1 JUL. 91				
NAVSTAR G PS	UNCLASSIFIED			AS OF : 24 JUL. 87	

GPS SCHEDULE

	FY - 87	88	89	90	91	92	93	94	2D CAPBLTY	3D CAPBLTY	21 SATS
PRE 51L BASELINE	6	7	7	4	4				JUN. 88	JUN. 89	OCT. 89
STS MANIFEST, 2 OCT. 86			4	2	2						
MLV CONTRACT BASELINE			6	6	8						
STS AND MLV			10	8	10				DEC. 89	SEP. 90	NOV. 90

NAVSTAR GPS

UNCLASSIFIED

AS OF : 12 MAR. 87

## DIFFERENTIAL GPS SYSTEM ERROR BUDGET

Segment Source	Error Source	Error (1 $\sigma$ )m	Differential Mode	
			Near	Far
Space	Clock & Nav Subsystem Stability	3.4	0	0
	Predictability of SV Perturbations	1.0	0	0
	Other	0.5	0	0
Control	Ephemeris Prediction Model Implementation	4.2	0	0
	Other	0.5	0	0
User (P-Code)	Iono Delay Compensation	2.3	0	2.3
	Tropo Delay Compensation	2.0	0	2.0
	RCVR Noise and Resolution	1.5	2.1	2.1
	Multipath	1.2	1.7	1.7
	Other	0.5	0.5	0.5
<b>1<math>\sigma</math> UERE</b>		<b>6.6</b>	<b>2.75</b>	<b>4.1</b>

### NAVSTAR/GPS SPACE VEHICLE NUMBERING

The following is a listing of navstar/GPS satellites and their respective identification numbers :

SV*	PRN**	IRON***	REMARKS
1	4	5111	
2	7	5112	UNHEALTHY
3	6	5113	
4	8	5114	CRYSTAL CLOCK DEAD
5	5	5115	
6	9	5118	
7			LAUNCH FAILURE
8	11	9794	
9	13	9521	
10	12	9783	
11	3	6374	

\* Space Vehicle number.

\*\* Pseudo Random Noise Code number.

\*\*\* Inter Range Operational number.

## SYSTEM ERROR BUDGET

SEGMENT SOURCE	ERROR SOURCE	ERROR ( $1\sigma$ )M	
		P-CODE	C/A-CODE
SPACE	CLOCK & NAV SUB-SYSTEM STABILITY	3.4	3.4
	PREDICTABILITY OF SV PERTURBATIONS	1.0	1.0
	OTHER	0.5	0.5
CONTROL	EPOCHERIS PREDICTION MODEL IMPLEMENTATION	4.2	4.2
	OTHER	0.5	0.5
USER	IONO DELAY COMPENSATION	2.3	5.0 to 10
	TROPO DELAY COMPENSATION	2.0	2.0
	RCVR NOISE AND RESOLUTION	1.5	7.5
	MULTIPATH	1.2	1.2
	OTHER	0.5	0.5
<b>1<math>\sigma</math> UERE</b>		<b>6.6</b>	<b>10.8 to 13.9</b>

NOUVEAU

# PLANIX 5000

## LA NUMERISATION REVOLUTIONNAIRE



**PRIX DE  
LANCLEMENT**

**PLANIX  
AVEC CHARGEUR  
ET COFFRET :  
10.800 HT**

**AVEC CHARGEUR,  
COFFRET  
ET INTERFACE RS 232 C,  
CABLE DE LIAISON :  
14.900 HT**

- Digitaliseur portable : 1,2 kg
- Aussi performant qu'un grand. C'est aussi un planimètre électronique autonome
- Evolutif. Le PLANIX 5000 peut être utilisé avec ou sans calculateur. Conectable directement sur imprimante via l'interface RS 232 C
- En mode autonome, le PLANIX 5000 sans calculateur donne instantanément les surfaces, les longueurs, les sommes et les moyennes.

Le Planix 5000 a sa place dans tout bureau d'études et cabinet de Géomètre.

#### Applications :

- Numérisation de levés de plans. Banques de données.
- Homogénéisation de plans anciens et nouveaux.
- Toutes surfaces et distances graphiques pour plans d'étude et d'aménagement, remembrements, lotissements, recensements, documents d'arpentage.
- Profils en long et en travers, cubatures, terrassements, mètres.
- Surfaces de levés d'intérieur, d'ouvertures de façades, Monuments historiques.
- Projets de bâtiments et constructions : architectes.
- Aménagements de parcs et jardins : Paysagistes, urbanistes.
- Surfaces de pièces mécaniques, éléments de machines, diagrammes : Bureaux d'études, mètres.

• Peu encombrant, il peut être emmené avec soi ou au bureau de chantier ou en voyage. Il ne prend aucune place dans votre bureau.

- Immédiatement prêt à l'emploi. Vous apprendrez son utilisation en 10 minutes.
- Fonctionne sur batterie rechargeable sur secteur.
- Il mesure les coordonnées x, y, du plan qui sont alors envoyées dans votre calculateur pour traitement.
- Polyvalent et autonome, il calcule instantanément et affiche à son clavier les surfaces et longueurs, à l'échelle du terrain, les valeurs moyennes, les valeurs cumulées, les totaux. Plus les 4 opérations.
- Fini les planimétrages longs et fastidieux ; avec le planix il suffit de pointer les coins des parcelles ou les extrémités des segments. Les valeurs affichées : surfaces, longueurs peuvent être envoyées, si on le souhaite, dans un calculateur ou imprimante, via l'interface RS 232 C du planix.

MESURES ET SYSTEMES  
développe des logiciels  
pour le traitement des  
données de PLANIX



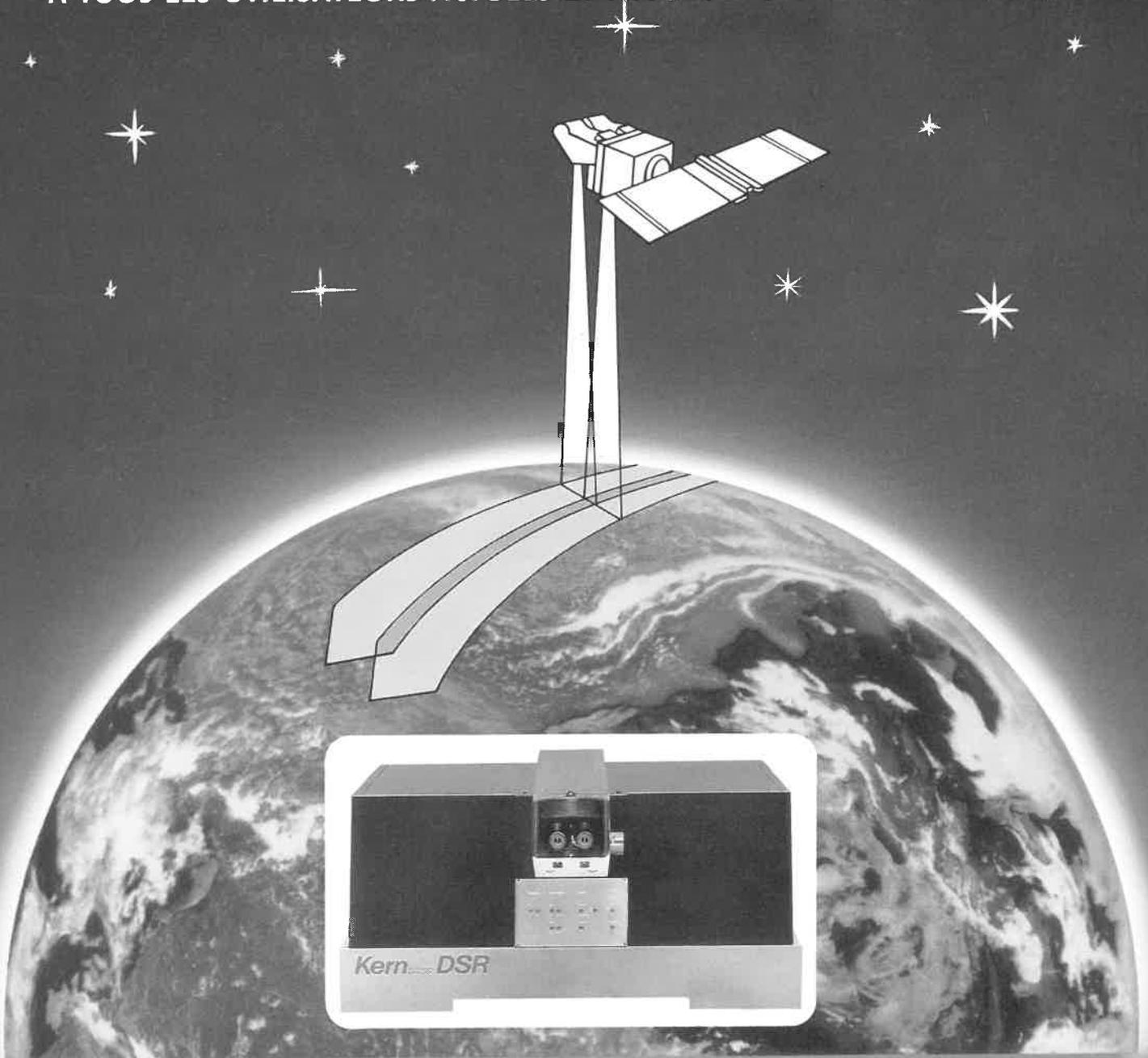
**MESURES ET SYSTEMES**

6, Rue des Jardins 60500 CHANTILLY - FRANCE

Tél. 44 57 27 97 (16 obligatoire depuis la Région Parisienne) Télex 150 153 F

# LOGICIEL SPOT POUR DSR KERN

A TOUS LES UTILISATEURS ACTUELS ET FUTURS D'UN SYSTEME DSR KERN



**LES INSTRUMENTS ANALYTIQUES DE KERN PERMETTENT L'ACQUISITION DES DONNEES A PARTIR DES IMAGES SPOT.**

Si un des domaines mentionnés vous intéresse à savoir:

**la cartographie • l'exploration géologique pétrolière et minière • le gestion et l'aménagement du territoire • la prévision et le suivi des récoltes • la surveillance des catastrophes naturelles etc.**

**Alors la photogrammétrie par satellite spot est la solution qui vous convient.**

**Un produit**

Catalogue et documentation gratuits sur demande à :



**Kern FRANCE** Division Photogrammétrie, 35, rue Fondary F-75015 Paris. Tél. 1/45.78.61.11 - Téléfax : 45789503

# SPOT

## par Jean-Pierre LE GORGEU

### SPOT IMAGE

J'ai eu l'occasion lors de la rencontre AFT 86 de Cachan de décrire le fonctionnement du système SPOT un peu moins d'un an après le lancement de SPOT 1. Deux années se sont maintenant écoulées depuis la mise en orbite du satellite, pendant lesquelles d'utiles renseignements ont pu être tirés sur le fonctionnement du système, le développement des produits commercialisés.

Du satellite, peu de chose à dire si ce n'est son excellent fonctionnement hormis la panne survenue à l'enregistreur N°1. La capacité de prise de vues, en dehors des zones couvertes par des stations de réception, repose désormais sur le seul enregistreur N°2 et s'en trouve donc limitée. Cette situation doit cependant s'améliorer au fur et à mesure du développement du réseau de stations de réception.

Aux deux stations principales de Toulouse et Kiruna et aux stations de réception directe de Prince Albert et Gatineau, Canada, sont venues en effet s'ajouter en 1987 celles d'Hyderabad en Inde, opérée par le NRSA et de Mas Palomas, Canaries, opérée par l'Agence Spatiale Européenne. D'autres stations sont prévues :

Cuiaba, Brésil  
Islamabad, Pakistan  
Hatoyama, Japon  
Prétoria, Afrique du Sud  
Beijing, Chine  
Alice Springs, Australie

Leur mise en service interviendra au cours des années 1988 et 1989.

Quand l'image demandée n'existe pas en archive, SPOT IMAGE offre à sa clientèle la possibilité de faire réaliser une programmation du satellite. Le succès de celle-ci dépend naturellement des conditions météorologiques rencontrées mais également de la charge de travail du système. Des difficultés sont fréquemment rencontrées dans la zone Asie-Pacifique, dues à la limitation des capacités d'enregistrement en attendant le développement du réseau de stations, ainsi qu'en Europe de l'Ouest à cause du grand nombre de demandes de programmation formulées par la clientèle.

Le Tableau 1 donne le taux de satisfaction de la programmation par zone géographique pour la période située entre le 1er mars 1987 et le 29 février 1988. Les chiffres parlent d'eux mêmes : excellents résultats sur le Moyen Orient, moyens sur la France, franchement mauvais sur la zone amazonienne.

TABLEAU 1  
PROGRAMMATION  
TAUX DE SATISFACTION PAR ZONE GEOGRAPHIQUE  
PERIODE DU 1/3/87 AU 29/2/88

Zones Géographiques	Nbre DP achevées	Nbre Scènes demandées	Scènes par DP	Nbre Scènes acquises	Taux de satisfaction
France	73	180	2.5	79	44 %
Europe	165	604	3.7	318	52 %
Moyen-Orient	87	520	6.0	417	80 %
Asie-Pacifique	344	1 080	3.1	812	75 %
Afrique Ceinture Equatoriale	73	313	4.3	159	50 %
Reste de l'Afrique	174	874	5.0	630	72 %
Zone Amazonie + hauts plateaux Andins	32	207	6.5	28	14 %
Reste Amérique Latine	47	104	2.2	50	48 %
USA/Scandinavie	93	438	4.7	234	53 %
Total	1 088	4 320	4.0	2 727	63 %

Le Tableau 2 donne, à titre d'exemple, le nombre d'images acquises sur la France, mois pas mois, en modes multibande, panchromatique et multibande et panchromatique confondus.

A la fin de l'année 1986, 215 000 scènes avaient été archivées. En 1987, 400 000 images ont été acquises et l'archive actuelle se monte à environ 630 000 scènes. Parmi celles-ci, environ 20% sont sans nuages et 25% sans nuages ou peu nuageuses, donc exploitables.

Le système catalogue de SPOT IMAGE renseigne régulièrement la clientèle sur les acquisitions réalisées, les caractéristiques des images, les produits existants. Environ 130 abonnés utilisent régulièrement ce service gratuit.

A cette information transmise sous forme de listings SPOT IMAGE s'ajoute, à la demande, des représentations graphiques de l'état des couvertures, pays par pays ou par zone délimitée. Les figures 1 et 2 donnent l'état de l'archive des images sans nuages disponibles en mode multibande et panchromatique sur le Tchad.

TABLEAU 2  
FRANCE

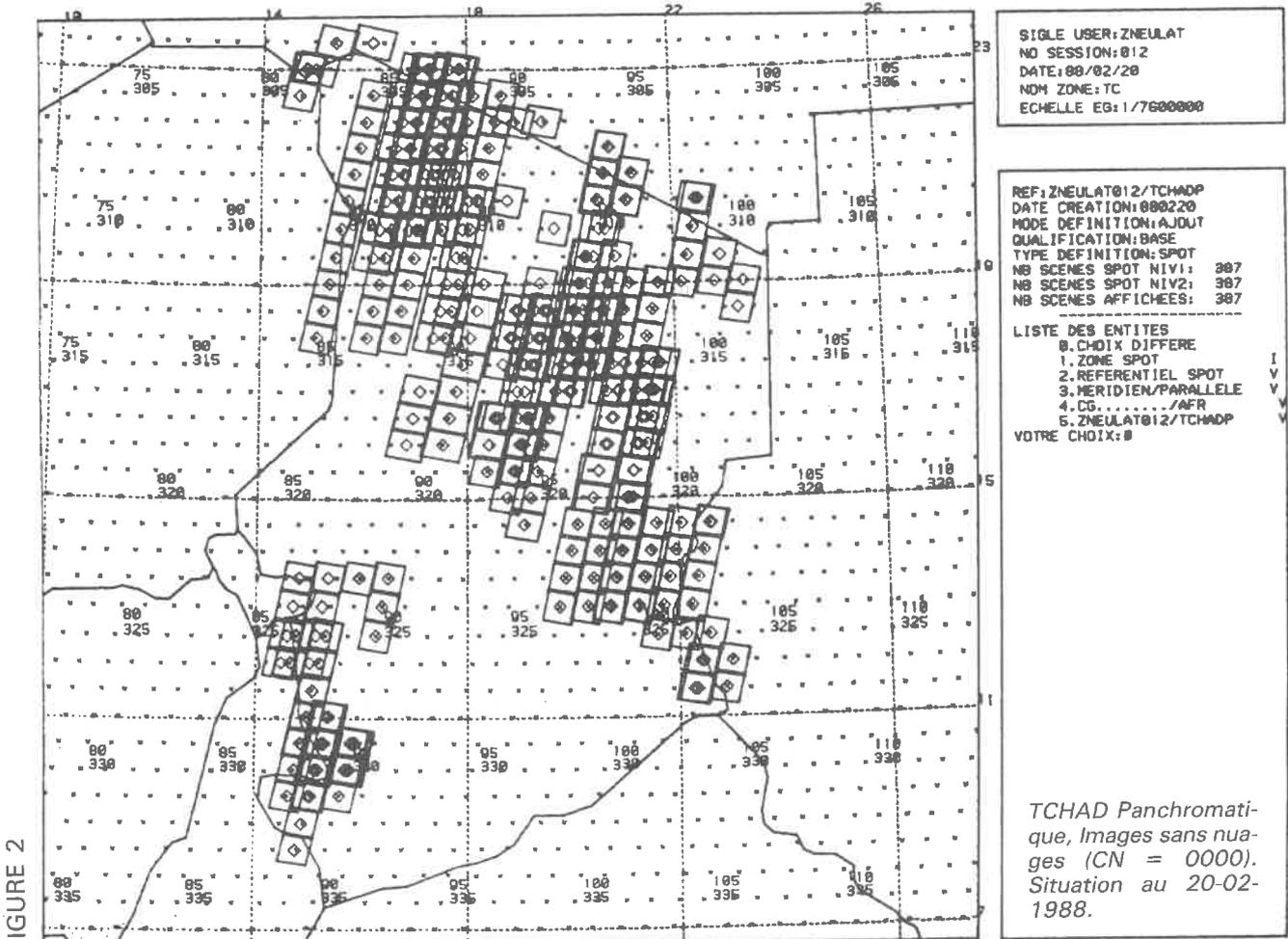
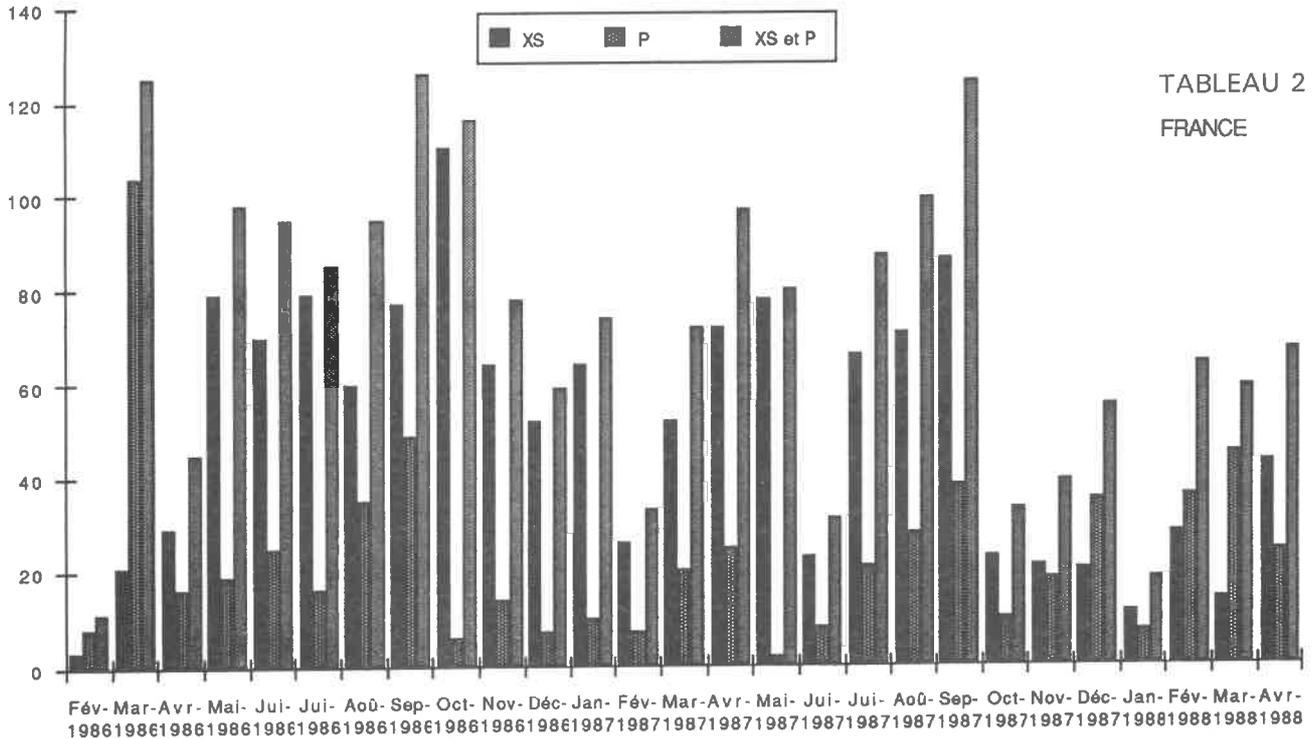
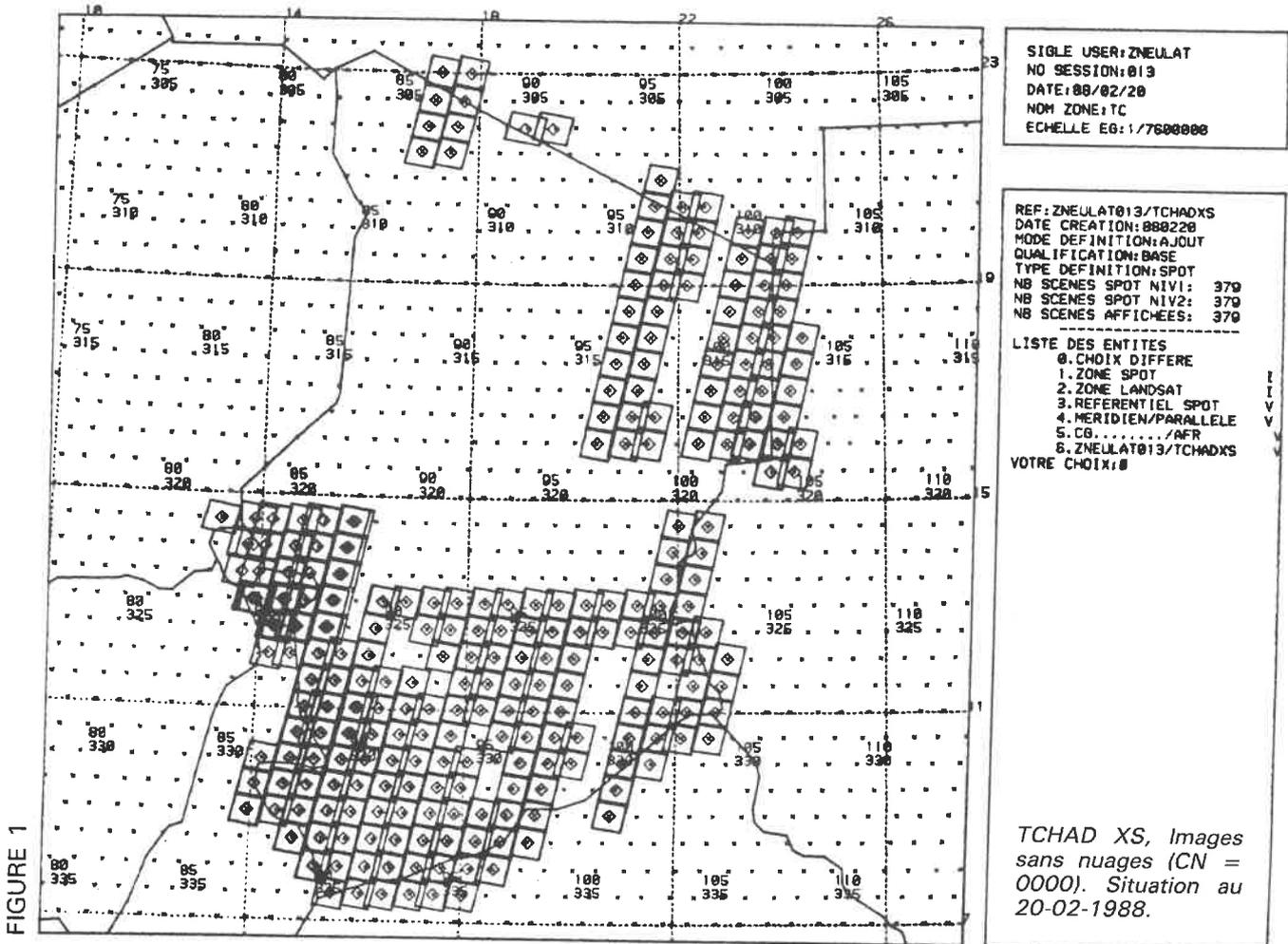


FIGURE 2



La gamme des produits commercialisés par SPOT IMAGE comporte un certain nombre de niveaux de prétraitement. Les figures 3a à 3d représentent cette gamme pour la scène 030-254 du 17 avril 1987 couvrant le Golfe du Morbihan :

Fig. 3a : niveau zéro, donnée brute, aucune correction effectuée. Ce produit n'est pas vu par le client.

Fig. 3b : niveau 1A, corrections radiométriques (égalisation des détecteurs) mais pas de corrections géométriques. Ce produit est utilisé pour la stéréorestitution. Avec le film sont fournies, sur CCT, les données auxiliaires d'attitude.

FIG. 3a NIVEAU 0



FIG. 3b NIVEAU 1A





Fig. 3c : niveau 1B, corrections radiométriques et corrections géométriques : rotation de la Terre, effet panoramique, effet de filé, angle de visée. C'est le produit le plus couramment utilisé pour la photointerprétation et les analyses thématiques.

FIG. 3c NIVEAU 1B

Fig. 3d : niveau 2, aux corrections de système viennent s'ajouter la prise de points d'appui mesurés sur une carte fournie par l'utilisateur ou à défaut de documents cartographiques utilisables par la réalisation de points GPS sur le terrain.

FIG. 3d NIVEAU 2



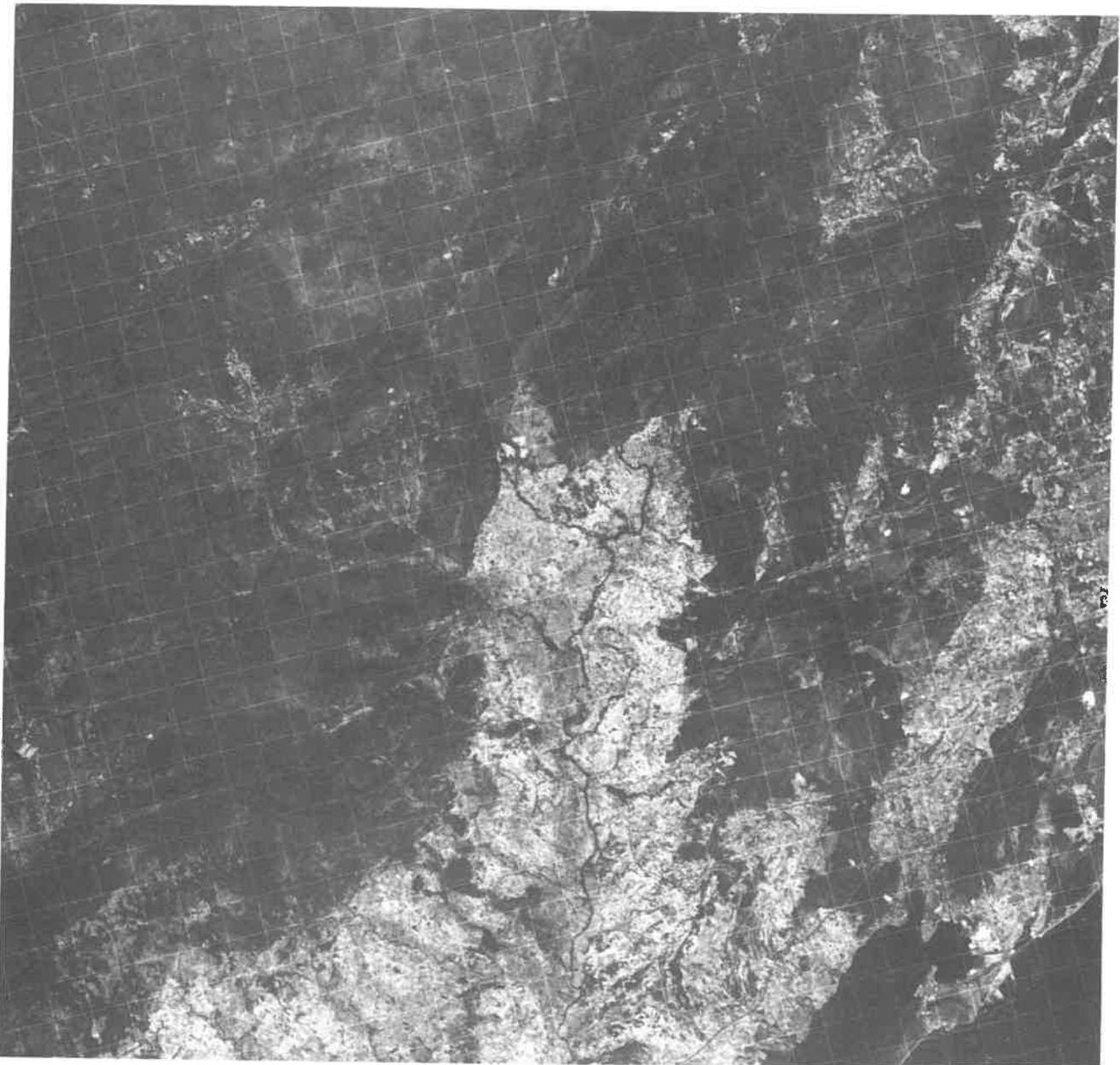


FIG. 4 NIVEAU 2 AVEC CARROYAGE

D'autres produits sont développés par SPOT IMAGE et le CRIS tel ce niveau 2 avec carroyage (fig. 4) de la scène 046-262 du 1er mai 1986 couvrant le Languedoc au Nord de Sète.

Si dans un premier temps les produits de niveau 1B constituent l'essentiel des demandes de la clientèle, l'utilisation du niveau 2 tend à se développer pour la réalisation de mosaïques. Les figures 4a et 4b donnent l'exemple du choix à partir de l'archive panchromatique existante sur le Tchad des images les plus favorables à la réalisation d'une mosaïque.

Dans cet exemple, deux séries de 8 images ont été sélectionnées à partir de prises de vues réalisées en configuration jumelée avec un faible angle de prise de vue (quasi vertical) et des dates rapprochées garantissant une excellente homogénéité radiométrique.

C'est la clientèle pétrolière qui a été la première demandeuse de ces réalisations qui nécessitent des traitements particuliers par le CRIS avant mosaïcage final par l'Institut Géographique National. A partir de blocs de 12 à 16 images ont ainsi été produits des planches renseignées au 1/200 000 et 1/100 000. Ce type de réalisation tend à se développer de

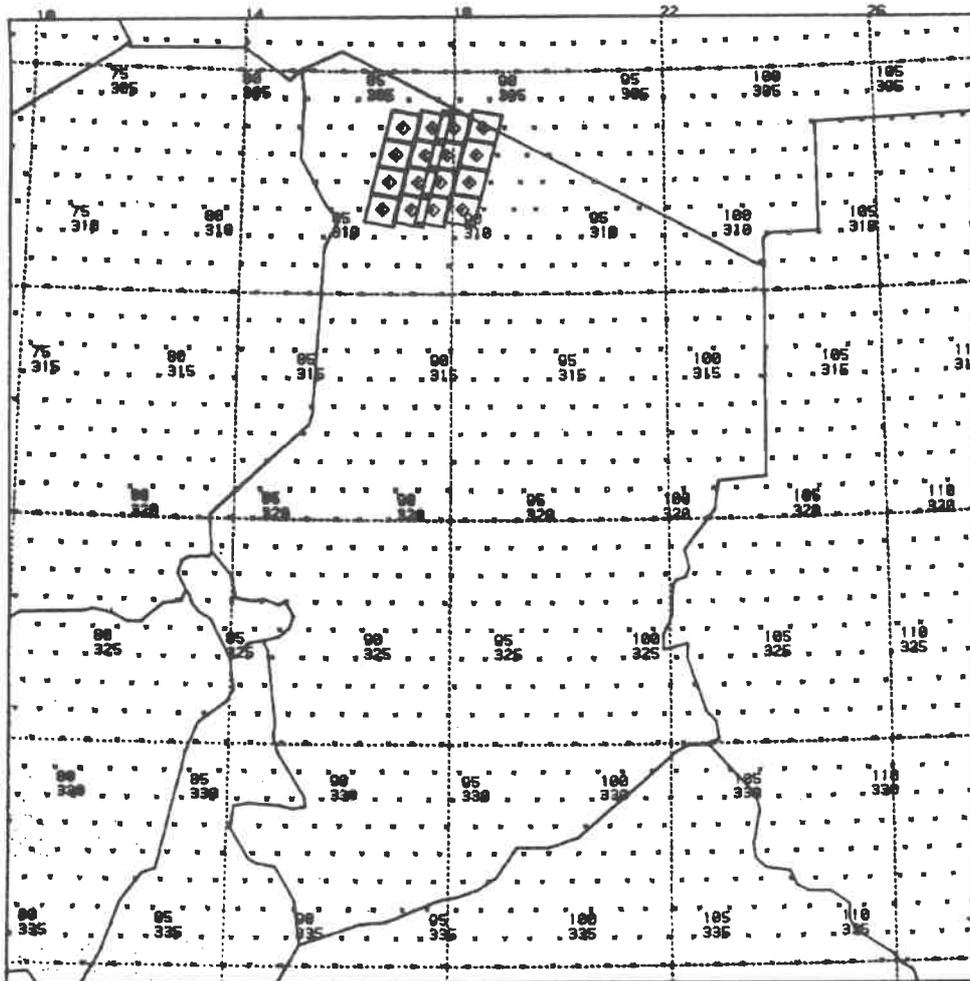
manière à couvrir des régions entières nécessitant des couvertures de 100 à 200 scènes aboutissant à la réalisation de feuilles au découpage régulier au 1/100 000ème.

Il n'est pas exclu que la multiplication de ces mosaïques pour l'instant réalisées photographiquement le conduise à utiliser par la suite des moyens numériques qui faciliteront le découpage en feuilles régulières. Produit relativement peu coûteux, elles conviennent particulièrement dans les grandes étendues désertiques mal cartographiées. Les faibles différences topographiques souvent rencontrées dans ces régions garantissent une localisation précise pourvu que l'on dispose de points de contrôle de qualité suffisante.

Ces mosaïques sont un complément aux cartes topographiques réalisées à partir de couples stéréoscopiques d'images SPOT dont les qualités sont maintenant largement démontrées.

D'autres produits viendront, on s'en doute, s'ajouter à ceux-ci au cours de l'exploitation d'un système SPOT assuré d'une grande longévité avec la réalisation de SPOT 2 et 3 et les études lancées pour SPOT 4.

FIG. 4a



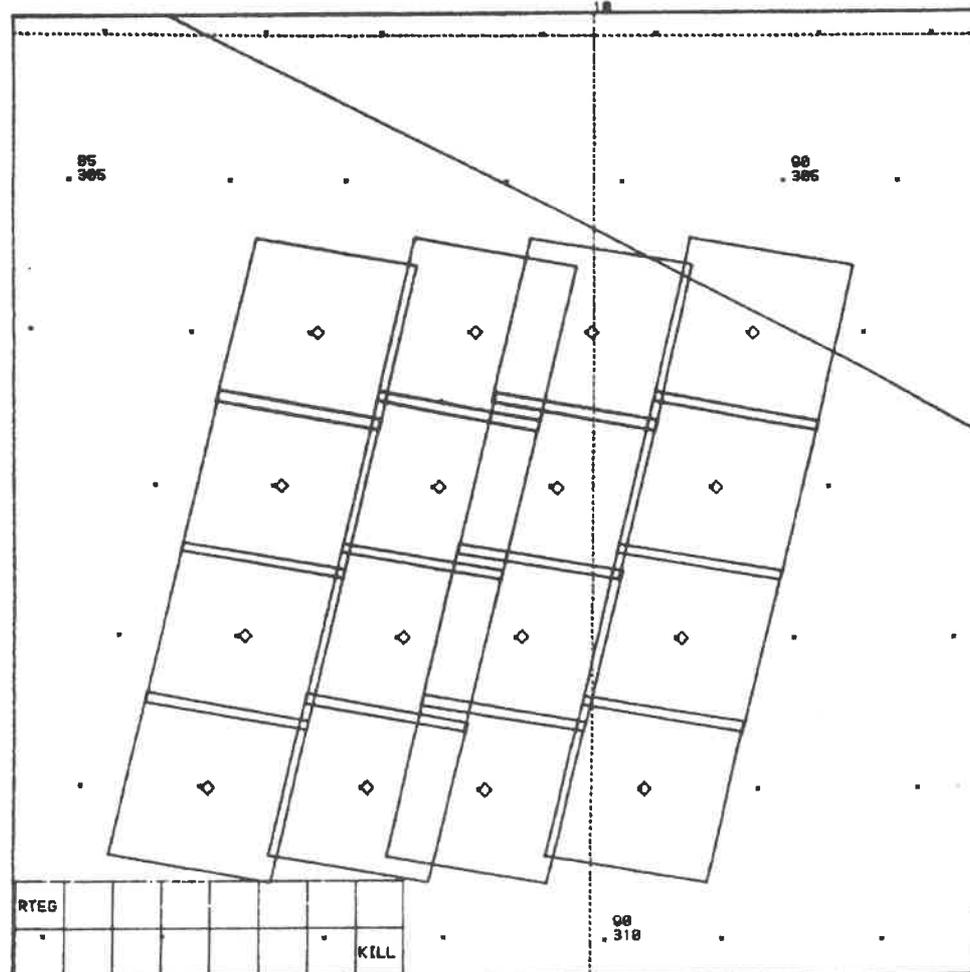
SIGLE USER:ZJPLG  
 NO SESSION:000  
 DATE:08/03/14  
 NOM\_ZONE:TC  
 ECHELLE EB:1/7500000

REF:ZJPLG 000/TIBESTI  
 DATE\_CREATION:080314  
 MODE\_DEFINITION:AJOUI  
 QUALIFICATION:BASE  
 TYPE\_DEFINITION:SPOT  
 NB\_SCENES\_SPOT\_NIV1: 16  
 NB\_SCENES\_SPOT\_NIV2: 16  
 NB\_SCENES\_AFFICHEES: 16

LISTE DES ENTITES  
 0. CHOIX DIFFERE  
 1. ZONE SPOT  
 2. REFERENTIEL SPOT  
 3. MERIDIEN/PARALLELE  
 4. CG...../AFR  
 5. ZJPLG 000/TIBESTI  
 VOTRE CHOIX: 0

Mosaïque TIBESTI  
 Panchromatique, CN  
 = 0000. 30-03-86 /  
 04-04-86, 086309 /  
 090306.

FIG. 4b



SIGLE USER:ZJPLG  
 NO SESSION:000  
 DATE:08/03/14  
 NOM\_ZONE:TC  
 ECHELLE ED:1/1400000

Mosaïque TIBESTI  
 Panchromatique, CN  
 = 0000. 30-03-86 /  
 04-04-86, 086309 /  
 090306. Zoom x 14.

## Reportage : le tour de France du WM 101

333,47 mètres, c'est l'altitude de l'un des sommets les plus connus de Lyon, celui de la tour de La Part-Dieu communément appelée "le crayon".

C'était il y a plus d'un an, à l'occasion de la FI3G, une présentation originale du Wild Magnavox WM 101. Depuis le célèbre instrument, à l'écoute des signaux satellites du programme GPS NAVSTAR a parcouru bien du chemin.

### L'appui des satellites GPS NAVSTAR sur le Tunnel sous la Manche

Il a fait parler de lui sur le chantier du tunnel sous la Manche où les équipes de WILD et de TMC ont réalisé en mars dernier, une mesure de rattachement entre la France et l'Angleterre. Une manifestation spectaculaire derrière laquelle il faut voir un défi technologique qui se pose aux Géomètres chargés du guidage et du contrôle du tunnelier. En effet tout grand chantier nécessite au préalable une infrastructure géodésique de précision pour assurer la cohérence des travaux, surtout pour le Tunnel sous la Manche exécuté depuis les 2 extrémités. De plus l'obstacle constitué par le bras de mer est difficilement contournable par des méthodes traditionnelles de géodésie. C'est la raison pour laquelle les ingénieurs de TMC ont fait appel à l'IGN pour réaliser le réseau de rattachement dont WILD LEITZ a renouvelé l'une des mesures dans le cadre d'une démonstration du WM 101. Résultat : 45 899,95 mètres, un chiffre confirmé par l'IGN.

On peut désormais espérer que français et anglais pourront effectivement atteindre leur point de rencontre !



Mesures de la hauteur de la Tour du Crayon à Lyon en juin 87.

### Quand WILD LEITZ remue ciel et mer

Que ce soit les flots de la Manche ou ceux de l'Atlantique, rien n'arrête le WM 101 ! Il était lui aussi sur les lignes de départ et d'arrivée de l'étape Port-Bourgenay-la Rochelle à l'occasion de la fameuse Course de l'EDHEC, course à laquelle participait le bateau de l'équipage de l'ESGT sponsorisé par WILD et la Fédération des Géomètres-Experts. Une façon originale de retrouver sur le port les Géomètres de la région guidés par la petite antenne bien connue des professionnels.



Observations sur le site du Tunnel sous la Manche.

### Mer, montagne, forêt, autant de conditions difficiles à surmonter

Pas de jaloux pour les étudiants de l'ENSAIS ! Ils ont aussi eu droit à une démonstration in-situ à l'occasion de leur traditionnelle "mise au vert" pendant laquelle ils réalisaient cette année, des mesures de triangulation cadas-

trales à la Petite Pierre dans les Vosges. Les résultats obtenus avec le WM 101 ont permis de confirmer les observations réalisées par les étudiants. 8 points ont été mesurés en 48 h dans un environnement montagneux et très boisé qui rendaient les conditions d'autant plus difficiles et l'utilité du système GPS d'autant plus évidente.



"...guidés par la petite antenne bien connue des professionnels".

### Le WM 101 sur fond de grand chantier

Le tunnel du TGV Atlantique sur le chantier de Villejust n'a pas échappé à la tournée de l'instrument. Des mesures GPS ont été réalisées aux 2 extrémités du tunnel. Le but de l'opération : comparer les résultats avec le cheminement polygonal préalablement déterminé.



Mer, montagne, forêt, autant de conditions difficiles à surmonter.

### Des Géomètres dynamiques

De nombreuses présentations ont été organisées à l'initiative des Géomètres. A Aurillac, sous l'impulsion de M. Cros, à Reims dans le cadre des conférences du Congrès des GE de la Région de Nancy et à Bordeaux où des membres de l'administration ainsi que Elf Aquitaine étaient présents. Des rencontres qui soulignent le dynamisme de certaines régions qui s'intéressent de très près aux technologies nouvelles.

### Un nouveau chapitre de l'histoire de la géodésie est ouverte

Ce Tour de France du WM 101 affiche des résultats forts concluants ; il a permis de démystifier le système, de considérer l'instrument non pas comme un gadget mais comme un outil indispensable. En effet, les différentes démonstrations et les difficultés rencontrées (obstacles incontournables tels que la mer, la montagne, la forêt, observations de jour comme de nuit...) ont prouvé l'efficacité d'un tel système destiné à remplacer les méthodes traditionnelles et à répondre à des besoins nouveaux.

Un nouveau chapitre de l'histoire de la géodésie est ouverte.



Sur le chantier du TGV Atlantique à Villejust.

## Test Results for Six GPS Survey Systems

In January 1983, the Federal Geodetic Control Committee (FGCC) conducted the first in a series of tests of Global Positioning System (GPS) satellite surveying systems and associate commercial software. The first one tested was the Macrometer V1000, a codeless carrier phase three-dimensional relative positioning survey system. Test results proved it was capable of achieving centimetre-level accuracies.

### Other Systems Tested

Five other GPS survey systems were tested between late 1985 and early 1987 : Texas Instruments T14100, Trimble 4000S (4-channel), ISTAC 2002, Trimble 4000SX (5-channel), and Wild-Magnavox WM-101. The T14100 code correlation system was the only receiver that featured dual frequency (L1 and L2) carrier phase measurement capability. The other four single-frequency systems featured codeless P-code transition phase (2002) and code correlation carrier phase (4000S, 4000SX, and WM-101).

*(Geodetical Info Magazine avril 1988)*

Pour obtenir la revue écrire à Geodetical Info Magazine, PO Box 112, 8530 AC LEMMER, THE NETHER LANDS.

## Golden EAGLE

La firme STERNE qui représente MOTOROLA GOVERNEMENT ELECTRONIC GROUP en Europe vient d'introduire sur le marché français le Récepteur Golden EAGLE, version spécialisée à la géodésie et la topographie du célèbre récepteur GPS EAGLE de Motorola.

Le Golden EAGLE vient d'être sélectionné parmi toute la production mondiale pour la calibration permanente du système de positionnement par satellites géostationnaires Starfix mis en service par John e Chance & Associates de Houston, Texas et concurrent du Navstar pour les utilisateurs civils.

Le Golden EAGLE en mode différentiel permet d'effectuer des mesures de distances et coordonnées avec une précision de  $10^{-7}$ .

Très compact et léger, il peut être transporté complet avec son calculateur dans un attaché-case dont le poids n'excède pas 5 kg.

STERNE SA, 22, rue de Lourmel, 75015 Paris. Tél. : 45.75.62.72 - FAX : 45.798.07.24 - Télex : 200 168F.

## ASHTECH XII homologue aux Etats-Unis

ASHTECH XII, récepteur GPS pour applications topographiques, a fait l'objet d'une démonstration concluante auprès du Federal Geodetic Control Committee (FGCC), organisme gouvernemental qui a entre autres charges celles de superviser la qualité des instruments de géodésie.

Mettant en œuvre un échantillon de dix équipements, la démonstration a eu lieu en août 1988 dans le temps record de 5 jours, avec essais sur le réseau de points de référence du FGCC près de Washington DC. L'environnement était "professionnel", et même caniculaire ( $40^{\circ}$  C à l'ombre, mais fonctionnement en plein soleil, comme l'ont souligné les examinateurs). Aucun défaut matériel ou logiciel n'a été relevé, et il a été noté que :

— la précision était meilleure que 5 mm ou 2 ppm ( $2 \cdot 10^{-6}$ ) selon la distance plus ou moins grande entre points de référence (la précision de un millionième étant très souvent obtenue)

— la "portabilité" et la facilité de mise en œuvre étaient exceptionnelles, y compris pour le logiciel de post-traitement sur le site

— le récepteur était "panoramique" (ou "tous azimuts") dans la mesure où ses douze canaux physiques parallèles lui permettent de capter les signaux de tous les satellites en vue ("all in view"), même dans la plus complète des constellations futures.

L'équipement ASHTECH XII est commercialisé en Europe par la Société SAGEM, 1, rue Louis-Meunier, BP 215, 92002 Nanterre Cedex. Tél. : 42.91.20.20.

## Trimble 4000SL

Leaders de la Technologie et du radiopositionnement, CRM et Trimble ont conclu des accords de Transfert de Technologie (fabrication s/licence). CRM, 30 agences en France, 3 agences en Afrique est depuis le mois de mars 1988 l'Importateur exclusif Trimble. Nous voyons ici un GPS 4000 SL dans la "Vallée de la mort". Les contraintes sont extrêmes : température =  $+105^{\circ}$  — hygrométrie = — de 5 % - poussières et vents.

Les déplacements se font par routes et pistes, ce qui augmente la dureté de l'environnement. Ce GPS ne nécessite aucun matériel informatique, il possède une capacité mémoire de 1 MEGA/oct. de RAM statique, permettant tous les traitements nécessaires.

Photo : "Vallée de la mort, USA", GPS Trimble 4000 SL en opération.

Compagnie Radio-Maritime CRM, 4, route Principale du Port - BP 71, 92233 Gennevilliers. Tél. : (33-1) 40.85.06.02.



# ACTUALITES A.F.T.

## Une idée qui a fait son chemin, le BTS Topo...

Lors du 5ème Colloque tenu à EGLETONS en Novembre 1981 sous la Présidence de Mr. de PREESTER (Inspecteur Général de l'Education Nationale) et sur le thème de la formation des techniciens en topographie (voir XYZ N° 10 de Mars 1982), l'Association Française de Topographie avait émis le voeu de voir couronner les filières de formations dans les lycées et établissements supérieurs par la création d'un **BTS, Brevet de Technicien Supérieur.**

L'efficacité de l'action de Mr. de PREESTER est sur le point d'aboutir dans cette voie et va même au-delà des espérances initiales par la création de passerelles entre les différentes filières de formation.

Voici ici les points de vue sur cette importante question de MM. THOMAS et BRET, Président et Membre de la Commission de l'Enseignement de l' A.F.T.

## Rénovation du BEP

La création du **B.E.P. Opérateur-Géomètre-Topographe** remonte à 1974. Depuis quelque temps, il est question de rénover cet examen en lui donnant une autre appellation qui serait le **B.E.P. Construction et Topographie**

Ce nouveau **B.E.P.** permettrait, à l'issue des deux années de formation, soit de s'insérer dans la vie professionnelle, soit de poursuivre des études de niveau IV dans le secteur de la Topographie ou du Bâtiment et des Travaux Publics.

Ce **B.E.P.** aurait un tronc commun et deux dominantes :

- une dominante spécifique à la Topographie
- une dominante spécifique au Bâtiment et T.P.

La dominante Topographie aurait la particularité d'intégrer au **B.E.P.** les compétences du **C.A.P. Opérateur-Géomètre-Topographe.**

Après que la profession ait défini les analyses de tâches pour arriver au niveau requis, des enseignants ont commencé à étudier les référentiels liés à ces analyses.

Notons que ce nouveau **B.E.P.** permettra une insertion plus logique des élèves à dominante Topographie vers le Bâtiment et les T.P. et vice-versa.

Le **B.T. Topographe** tel qu'il existe actuellement, doit faire l'objet d'une refonte des programmes pour tenir compte de l'évolution des technologies.

Ainsi, aurions-nous une suite logique entre le **B.E.P.** et le **B.T.**, qu'il soit Topographie ou B.T.P.

## Vers la création du Brevet de Technicien Supérieur Géomètre Topographe (BTS Topo) pour 1989

Une réforme importante de la formation des Géomètres-Topographes vient d'être mise en chantier par l'Inspection Générale de l'E.N. en la personne de Monsieur de PREESTER (par ailleurs Membre de l'A.F.T.).

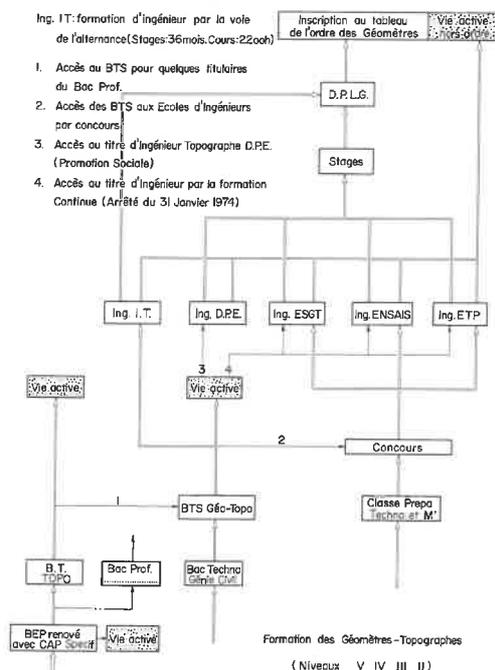
L'objectif est de remplacer dès la rentrée 89 l'examen préliminaire de Géomètre-Expert par un **Brevet de Technicien Supérieur Géomètre-Topographe** dont la création était demandée par beaucoup depuis des années.

Cette future formation aura l'avantage, par rapport à celle qu'elle remplacera, d'être sanctionnée par un **B.T.S.**, diplôme d'Etat connu et à finalité plus large, permettant d'affronter, mieux armé, la vie active.

Outre cette possibilité, une étude en cours permettrait aux Titulaires du **B.T.S. topo** d'être admis sur dossier dans un Institut de Topométrie (I.T.) rénové, délivrant un diplôme d'Ingénieur et se diriger vers la profession de Géomètre-Expert. Les concours d'entrée dans les autres Ecoles d'Ingénieurs leur seront également ouverts.

Enfin, le recrutement pour le **B.T.S.** pourrait être légèrement différent de celui du préliminaire puisqu'il serait réservé dans l'ordre, aux titulaires d'un Bac Technologique, d'un Bac général (C, D, ou E) ou d'un **B.T. topo.**

A divers stades de l'étude de cette formation, des Membres de l'A.F.T., professionnels ou Enseignants, ont travaillé ou travaillent encore. Mais, ne doutons pas que cela soit un gage de succès pour l'avenir.



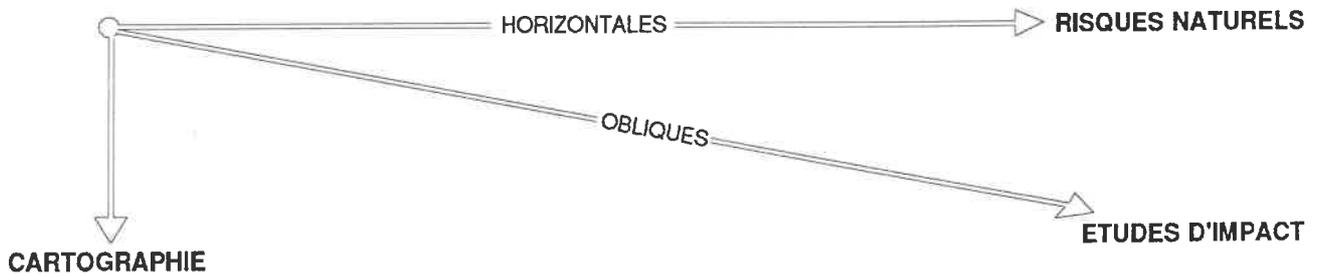
prises de vues aériennes

A . P . E . I  
aéro photo europe industrie

FRANCE  
en 2 heures  
sur votre chantier



EUROPE  
en 2 heures  
sur votre territoire



SIEGE SOCIAL ET SERVICES TECHNIQUES : AERODROME DE MOULINS - MONTBEUGNY - ☎ 70.20.63.67 - TELEX 980 882 ATTN : A. MÉMIER

**REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE**

- agrandissements
- réductions
- remises à l'échelle en tous formats
- réductions/assemblages de plans à échelle imposée
- confection
- reproduction
- travaux spéciaux sur mosaïques topographiques
- travaux sur supports polyester
- typons offset tramés ou trait

**HAUTE PRECISION**

**LART**  
PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga  
75012 PARIS

**(1) 43.47.15.92**

**URGENT**

***N'oubliez pas de régler votre cotisation 1988***

Merci

# LA VIE DE L'ASSOCIATION

## INFORMATIONS GENERALES

La **Société Internationale de Photogrammétrie et de Télédétection (ISPRS)** a entrepris l'édition d'un ouvrage en trois volumes, rédigé par un groupe de spécialistes, retraçant l'histoire de la photogrammétrie sous le titre : *Historical Development of Photogrammetric Methods and Instruments*.

La **Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection (SFPT)\*** consacrera trois numéros de son Bulletin à la publication d'une version française condensée de cet ouvrage. Le numéro 109 concerne le premier volume, pour lequel la traduction et la contraction du texte ont été effectuées par MM. H. Bonneval, M. Carbone, G. Ducher, J.-J. Hausknecht, C.-H. Latache et J.-J. Schlumberger.

Cette publication est faite sous l'entière responsabilité de la SFPT et n'engage en rien les auteurs, le Prof. R. Burkhardt et le Dr T.-J. Blachut.

Les informations permettant aux lecteurs intéressés de se procurer le volume I de l'ouvrage intégral en langue anglaise seront données dès la parution de ce volume. Celui-ci contient, en particulier, une liste de références bibliographiques de 276 titres, que nous n'avons pas reproduite.

\* *Société Française de Photogrammétrie et de Télédétection* :  
2, avenue Pasteur, 94160 Saint-Mandé.

## NOMINATION

Un nouveau Président pour l'Union des Ingénieurs ESGT, Claude Bruniquel, Ingénieur option "topographe", Inspecteur hors cadre à la RATP, Professeur à l'ESGT, vacataire d'enseignement, co-auteur d'un livre sur le calcul topométrique.

## COLLOQUES-CONGRES-MANIFESTATIONS

### 72<sup>e</sup> JOURNEE ALLEMANDE DES GEODESIENS DU 19 AU 22 OCTOBRE 1988 A BERLIN

#### "La topographie dans le champ conflictuel du droit et de la technique"

#### 1 - Quelques sujets qui seront évoqués

- Rapports mutuels de la technique et du droit.
- Intervention du GPS dans les levés et les recherches géotechniques.
- Homogénéisation des plans cadastraux dans le respect des conditions géométriques.
- Intervention de l'exploitation des données graphiques dans la documentation des établissements industriels.
- Profession libérale et liberté professionnelle.
- Les mesurages dans le cadre de la sûreté des preuves.

#### 2 - Quelques visites proposées

- Mesurage des voies de la Régie des Transports Berlinoises.
- Distribution du chauffage urbain et l'usine centrale Reuter.
- Bibliothèque de l'Etat de Prusse (470 000 cartes dont 50 000 à la main,...).
- Usine à dynamos Siemens.
- Ecole Technique Professionnelle Supérieure de Berlin (topo-carto).
- Usine Nixdorf.
- Université Technique (Photogrammétrie).

# BORNES & BALISES

B. P. 14 - Zone Industrielle  
17290 AIGREFEUILLE d'AUNIS  
Tél. : (46) 35-54-00

## Une nouvelle technique révolutionnaire de bornage :

le système BISS de BORNES et BALISES, le complément indispensable d'un plan de récolement

Le système BISS de BORNES et BALISES est une technique révolutionnaire de matérialisation d'un point géométrique couplé à un mode de localisation permanent et précis au centimètre près.

### PRINCIPE

Il est composé de deux éléments : le premier, actif, est un émetteur récepteur radio calé sur deux fréquences prédéterminées — l'une, d'émission, l'autre de réception — (Sondeur 2B SENSOR) ; le deuxième, passif, dénommé "BORA" (borne radio).

Son principe correspond à une antenne qui renvoie sous un code précis le signal émis par l'émetteur 2B SENSOR.

### AVANTAGES

Depuis de nombreuses années, l'évolution des engins agricoles et de travaux publics ont rendu les bornes de plus en plus vulnérables. Grâce au système BISS, on peut raisonnablement concevoir aujourd'hui que chaque borne implantée permettra d'être conservée dans le temps et, par conséquent, amènera une économie importante dans la recherche de ces points.

En effet, par ses caractéristiques, le système BISS apporte les avantages suivants :

- durée de vie illimitée de la borne (élément passif sans énergie) ;
- pose et manutention ultra-rapides (poids de la borne : 50 g ; longueur : 11,5 cm ; diamètre : 2 cm) ;
- facilité de recherche du point grâce à sa personnalisation ;
- localisation unique sans interférence (aucun écran d'arrêt tel que béton armé, plaque de fer, pierres, eau, etc...) ;
- rétablissement du point avec une précision à la verticale d'environ 2 cm.



A gauche :  
Repère topographique de réseau.

A droite :  
Borne radio "BORA".

Au centre :  
Emetteur-récepteur "2B SENSOR".

### APPLICATIONS

Les performances de cette nouvelle technique de bornage ont amené la Société BORNES et BALISES à affecter des fréquences d'utilisation en accord avec les Administrations concernées :

- 25 KHz : IGN, Cadastres, bornes géodésiques, bornes de triangulation.
- 33 KHz : bornes foncières contrôlées par l'Ordre des Géomètres-Experts.
- 40 KHz : repère topographique affecté pour les repères de drainage, d'adduction d'eau et d'assainissement.

Le système BISS de BORNES et BALISES devient donc un outil indispensable dans le cadre des Banques de Données Urbaines et des nouvelles structures d'aménagement rural.



Détermination de verticalité d'un point avec émetteur-récepteur 2B SENSOR.

Tous les topographes savent que la réalisation d'un plan de récolement nécessite en complément un balisage des points singuliers définis par rapport à la topographie des lieux. Au fur et à mesure des années, cette topographie peut changer et il devient plus compliqué pour les utilisateurs qui recherchent ces points, de les redéfinir.

Grâce au système BISS, le gain de temps dans la recherche va donc être considérablement augmenté ou accru et il apportera une économie extrêmement intéressante, en particulier, dans le cadre de la recherche de réseaux.

L'ensemble des Administrations concernées a déjà implanté 10 000 points en FRANCE et les tests de recherche réalisés ont amené ces Administrations à homologuer définitivement ce système.

## Répertoire des Annonceurs - N° 36

NIKON . . . . .	2 <sup>e</sup> CV
EQUIMAT . . . . .	2
WILD HEERBRUGG . . . . .	4
SERCEL . . . . .	14
STERNE SA . . . . .	24
SLOM . . . . .	25
GEOTRONICS . . . . .	26-27
ASHTECH . . . . .	28
MESURES ET SYSTEMES . . . . .	35
KERN FRANCE . . . . .	36
APEI . . . . .	46
LART . . . . .	46
BORNES ET BALISES . . . . .	48
AERIAL . . . . .	3 <sup>e</sup> CV
TOPO CENTER . . . . .	4 <sup>e</sup> CV

**CANNES**  
**Espace Miramar**

Sous le haut patronage de **Mme Anne-Marie DUPUY**  
Maire de la Ville de Cannes

**VENDREDI 21 et SAMEDI 22 OCTOBRE 1988**  
**15<sup>e</sup> COLLOQUE TECHNIQUE**  
**L'INFORMATION GEOGRAPHIQUE**  
**DANS L'AMENAGEMENT DU LITTORAL**

Président du Colloque : **Monsieur Fernand VERGER**  
Professeur à l'Ecole normale supérieure  
Directeur du Laboratoire CNRS "IMAGEO"

**Vendredi 21 Octobre**

- 
- 8 h 30 Accueil
- 9 h 30 Ouverture du Colloque
- Première séance** - L'évolution du littoral - Président de séance : M. PASKOFF, Professeur, Président de la commission sur l'environnement côtier de l'Union Géographique Internationale.
- 9 h 30 M. FOURGASSIE - Ingénieur Principal de l'Armement E.P.S.H.O.M. : La photogrammétrie en zone littorale.
- 10 h 00 M. Robert VINCENT - Ingénieur de l'Ecole Centrale - Président Honoraire de l'Association Française de Topographie : Un exemple d'évolution rapide du littoral : Port Saïd.
- 10 h 30 M. Maurice JULIAN - Professeur à l'Université de Nice : Méthodes et résultats de la mesure de l'ablation sur les surfaces calcaires : exemples littoraux.
- 11 h 00 M. QUELENNEC : BRGM - Inventaire des problèmes d'érosion côtière dans les pays de la Communauté européenne.
- 11 h 30 Compléments et synthèse par le président de séance.
- 12 h 00 Repas. Restaurant L'As de Carreau - 10, rue de Bône - Cannes. (près de l'Espace Miramar).
- Deuxième séance** - Le littoral et les travaux de Génie Civil - Président de séance : M. KARST, Directeur Départemental de l'Equipement
- 14 h 00 M. NOIRAY - Président du Directoire de l'Entreprise SPADA : La construction des ports.
- 14 h 30 Mlle FABRE - Ingénieur en Chef - Service Assainissement : La station d'épuration de la Ville de Nice.
- 15 h 00 Pause.
- 15 h 30 M. MICAUD - Ingénieur Divisionnaire "Lyonnaise des Eaux" : Les rejets en mer de la Ville de Cannes.
- 16 h 00 M. DE LA TULLAYE - Chef du Service des Bases Aériennes de Nice : Un aéroport gagné sur la mer : Nice Côte d'Azur.
- 16 h 30 Compléments et synthèse par le président de séance.
- 18 h 00 Réception à l'Hôtel de Ville de Cannes
- 

**BULLETIN D'INSCRIPTION POUR LE COLLOQUE**

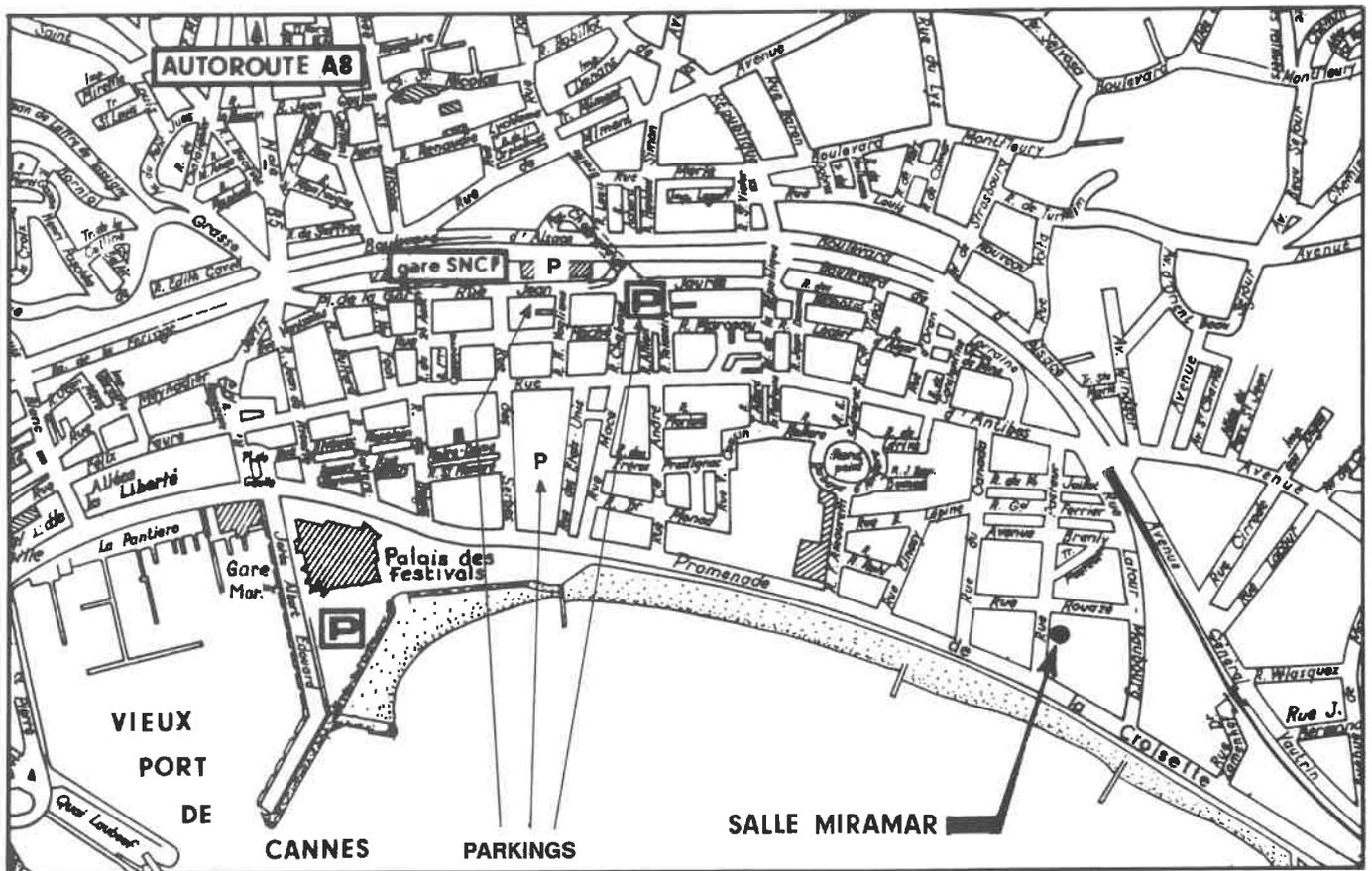
M. ....  
Profession ou fonction.....  
Adresse : .....

**INSCRIVEZ-VOUS AVANT LE 30 SEPTEMBRE 1988**  
INSCRIT POUR LES JOURNEES DES 21 et 22 OCTOBRE 1988  
au Colloque de Cannes

# Samedi 22 Octobre

**Troisième séance** - L'aménagement et la protection du littoral : Président de séance : M. COTEL - Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées - Chef du Service Maritime et Hydraulique des Alpes-Maritimes.

- 9 h 00 Mlle DAGORNE - Maître de conférences à l'Université de Nice et M. CANAVESE : Ingénieur I.G.N. : Télédétection aérospatiale : Cartographie des feux de forêts dans les Alpes-Maritimes.
- 9 h 30 M. BOURGEOIS - Président Directeur Général de I.D. SCOPE : Reconnaissance des fonds marins par sonar latéral.
- 10 h 00 M. CINI - I.T.P.E. chargé de la C.I.P.A.L.M. : La courantologie et la lutte contre la pollution.
- 10 h 30 M. TOURMEN - Ingénieur Conseil SOGREA, Grenoble : L'engraissement artificiel de la plage de Cannes lié au doublement de la Croisette.
- 11 h 00 Compléments et synthèse par le Président de séance.
- 11 h 30 Synthèse du colloque par M. le Professeur Fernand VERGER - Président du Colloque
- 13 h 00 Repas de clôture. Restaurant "Bistingo" Palais des Congrès - Cannes.



## DECOMPTE DES FRAIS

Droit d'inscription.....	Néant	
Déjeuner du 21 Octobre.....	Personnes à 130 F.....	F.
Repas de clôture du 22 Octobre.....	Personnes à 180 F.....	F.

NB : Le titre de paiement doit être libellé au nom de l'Association Française de Topographie et envoyé accompagné du présent bulletin à :  
 Monsieur GUIRAND - La "Domitienne", Rue Docteur BELLON  
 13090 Aix-en-Provence - Tél. 42 64 41 68

Soit au total ..... F.

Date et signature

Au château de Vincennes, jusqu'au 13 novembre

# 1688-1988 : Mémoire de l'Armée

## Trois siècles d'histoire

### Archives, cartes, tableaux et plans reliefs

“**J**e prie Monsieur de Noyers de me faire faire par ses commis des copies de toutes les instructions, ordres et dépêches importantes qu'il a expédiés cette année qui peuvent servir de mémoires pour l'histoire afin qu'on les ajoute à mes journaux.”

Le 23 décembre 1637, par ce document, le Cardinal de Richelieu donne l'ordre à son secrétaire d'Etat chargé des affaires de la guerre de réaliser le premier ensemble privé d'archives.

Mais, note le général Bassac, qui est en charge du service historique de l'armée de terre, “il faut cependant attendre que soit bien assis le concept moderne d'Etat pour qu'en 1688, Louvois puisse créer un véritable service d'archives confié à mon premier prédécesseur, Monsieur de Bellou. Ce dernier rassembla alors tous les documents de la secrétairerie à l'hôtel de Louvois à Paris”.

Le général Bassac note encore :

“Que les plus anciens qui visiteront notre exposition retrouvent au contact des pages d'histoire esquissées dans nos salles, toute la force et la foi de leur jeunesse dans les destinées du pays.

“Que les plus jeunes recueillent dans la “mémoire de l'armée” ici présentée, des raisons d'être fiers de leur Patrie et du labeur de leurs aînés.”

Extrait du plan de la bataille de l'Affelt (1747) par Berthier, ingénieur ordinaire des camps et marches des armées de sa majesté (SHAT). Photo Faust Favart.



## Manuscrits et livres rares

Parmi les ouvrages exposés :

La Jonchère (Etienne Lecuyer de). Nouvelle méthode de fortifier les plus grandes villes (...) suivie de dissertations sur la machine de Marly (...). Paris F. Delaune, 1718. In 12°, maroquin rouge, triple filet doré sur les plats, dos orné de fers dorés, tranches dorées.

Etude sur les fortifications, augmentée d'un traité d'hydraulique et de mécanique donnant entre autres la démonstration précise — avec planche à l'appui — de la machine de Marly construite pour alimenter l'aqueduc qui conduisait les eaux de la Seine à Versailles.

A lire dans la Revue historique des Armées, Château de Vincennes, 94304 Vincennes cedex. Téléphone : 43.74.11.55, poste 3327. N° 171 (juin 1988).

Dossier : archives des armées et histoire militaire. L'article : l'œuvre cartographique du Dépôt de la Guerre par l'ingénieur général géographe d'Hollander (10 pages), avec une préface, par Jean Favier, membre de l'Institut, directeur général des Archives de France.

“Du Clos des Galées et du Dépôt de la Guerre aux archives orales qui sont parfaitement l'un des objets de notre tâche actuelle, c'est tout un pan de l'effort de l'homme pour se souvenir et pour comprendre que retrace ce numéro de la Revue historique des Armées.”

## Présentation générale

Organisée dans le cadre prestigieux et méconnu du pavillon du Roi de Vincennes, l'exposition réunit sur 1 000 m<sup>2</sup> les ensembles les plus rares et les plus significatifs des archives et des tableaux du “Dépôt de la Guerre”.

Le Service Historique de l'armée de terre qui en est l'héritier, est à l'exception des Archives de la Chambre des Comptes et du Trésor des Chartres, l'un des plus anciens dépôts d'archives de France.

Dès 1637, le cardinal de Richelieu avait prescrit à son secrétaire d'Etat à la guerre Sublet-de-Noyers de faire “faire des copies de toutes instructions, ordres, dépêches qu'il avait envoyés qui peuvent servir de mémoire pour l'histoire”. Et en 1688 Louvois créa le premier fonds d'archives militaires, qui devint le Dépôt de la Guerre. 1988 est donc le 300<sup>e</sup> anniversaire de la fondation du Service d'Archives militaires. C'est de 1919 que date la création de l'actuel service historique installé depuis 1948 dans le château de Vincennes.

La présentation de l'exposition s'effectue en collaboration avec le Musée de l'Armée et les musées nationaux du Louvre, de Versailles et de Compiègne, avec l'Institut géographique national et la Section géographique militaire, avec la Bibliothèque nationale et avec la participation du SIRPAT et de la Délégation aux célébrations nationales (ministère de la culture). En effet, en raison d'événements passés et de nombreux changements de structure, un certain nombre d'œuvres des anciennes collections du Dépôt de la Guerre sont conservées maintenant au sein de ces divers organismes. On pourra voir exposées pendant près de six mois, plusieurs centaines d'œuvres d'art, d'archives et d'objets, ainsi que la présentation d'une animation audio-visuelle sur le château de Vincennes, le Service Historique de l'armée de terre et les différentes institutions organisatrices de cette manifestation.

## Renseignements pratiques

- Lieu : Pavillon du Roi du Château de Vincennes (tél. : 43.74.11.55).
- Horaires : tous les jours, sauf le lundi de 13 h 30 à 17 h 30, week-ends et jours fériés fermeture à 18 h.
- Prix d'entrée : 10 francs, demi-tarif, gratuité suivant cas.
- Visites conférences et visites guidées.
- Commissaire général : (poste 34.42).
- Publications : catalogue illustré, cartes postales, ouvrages édités par le Service Historique de l'Armée de Terre.
- Photographies : sur autorisation.
- Métro : Ligne 1, terminus - Château de Vincennes.
- Autobus : Paris 46, 56 ; banlieue 112, 115, 118 AB, 124, 313, AB, 325.
- RER : Ligne A, Vincennes.

# ACTUALITES A.F.T.

## BIBLIOGRAPHIE

### **Saint-Pierre (Martinique)**

**Tome I - La ville et le volcan avant 1902**

**Tome II (à paraître) - La catastrophe et ses suites  
par Solange CONTOUR**



La ville de SAINT-PIERRE a été détruite, le 8 mai 1902, par une nuée ardente provenant du volcan de la Montagne Pelée et sa population, estimée à 30.000 personnes, a péri en quelques minutes.

Or, cette ville était considérée comme la "Perle des Antilles" à la fois pour son importance économique et pour sa vie culturelle. C'était également une cité de plaisir et son Carnaval était réputé dans toutes les Iles Caraïbes.

A travers des textes d'époque et une importante collection de cartes postales anciennes, l'auteur fait revivre cette opulente cité et restitue l'atmosphère animée des quais du port, de la rivière où travaillaient les blanchisseuses, etc. Sont évoqués également des sujets tels que la religion, les luttes politiques et le mode de vie de la population, une attention spéciale étant portée à la beauté et aux costumes somptueux des femmes martiniquaises.

Cet ouvrage, constitué comme un dossier, se lit comme un roman, notamment parce qu'il est agrémenté de 122 illustrations pleine page.

Il est en vente au prix de 200 Francs :

- en Martinique dans les principales librairies,
- en Métropole dans diverses librairies spécialisées et notamment l'Astrolabe (46, rue de Provence. 75009 PARIS). Cette librairie assure également la vente par correspondance.

### OFFRES D'EMPLOIS

#### **Bureau d'études recherche urgence :**

- Pour ville Normandie, projeteur routier ou VRD.
- Pour Paris, chef de mission topo polyvalent.

Envoyer CV et photo à AFT qui transmettra. Réf. XYZ/36.1.

**Cab. Sud-Est ch. ing. ESGT** ou équiv. Dég. OM pour dev. serv. info sur mat. et log. top. niv. Bdu-Cao-Dao. Env. CV revue qui transm. Réf. XYZ 362.

### **QUAND LE PHYLLOXERA OBLIGE LES VIGNERONS A DEVENIR MAÇONS**

La déclaration d'utilité publique du 31 juillet 1888 officialise la construction du Viaduc de Saint-Satur.

Le centenaire de ce magnifique ouvrage à la courbe harmonieuse encadrant un paysage unique sur la Loire et les coteaux couverts de vignes est pour bientôt.

Le roman historique « Un Viaduc en Sancerroinie » vous relate l'exécution des travaux de la construction du Viaduc de Saint-Satur durant les trois années 1891-1892-1893.

#### « Un Viaduc en Sancerroinie »

Issu de la tradition orale du pays, vous conte les amours et les joyeuses histoires qui rôdent autour des pressoirs et sur le chantier, parfois les drames.

Il se situe au moment où le vignoble de Sancerre sort à peine de l'épreuve du phylloxéra et où commence une ère nouvelle avec l'avènement du chemin de fer. Le chantier du viaduc et de la ligne de chemin de fer apporte à la région une activité inattendue et providentielle.

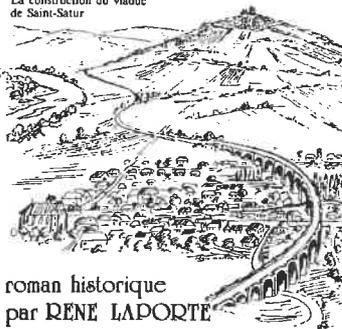
Qu'ils soient vignerons, mariniers, maçons ou tâcherons, ils travaillent au grand œuvre et la gaité malicieuse des Sancerrois est proverbiale.

#### « La Sancerroinie »... Pourquoi ?

Il fallait bien donner un nom à l'espace de liberté qui s'est créé depuis toujours entre les gens de ce pays.

### UN VIADUC EN SANCERROINIE

1891 • 1892 • 1893  
La construction du viaduc  
de Saint-Satur



Le roman est vendu  
au prix de 98 F  
chez l'auteur  
René Laporte,  
62, avenue de Fontenay,  
18300 Saint-Satur

roman historique  
par RENE LAPORTE

Les dessins et descriptions techniques de la construction du Viaduc de Saint-Satur ont été réalisés d'après les documents de l'époque.

Les dessins sont de Régis MARTIN.

L'histoire des luttes de nos ancêtres contre le fléau du phylloxéra est authentifiée par de nombreuses archives, planches et photographies.

### IGN

Carte des monuments historiques et des sites en  
Champagne-Ardenne (1/250 000).

Prix de vente : 34 F TC.