

XYZ Association Française de Topographie



Rencontre AFT 1986 Cachan (94)

Utilisation des satellites en cartographie et topographie "aujourd'hui et demain"

COUVERTURE

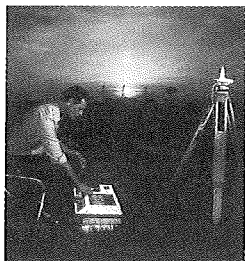


Photo : Wild Herrbrug.

*Et si demain c'était maintenant ?
Et si on pouvait dès aujourd'hui utiliser le système
GPS en géodésie à l'aide d'un appareil compact,
fonctionnel, tout terrain, et cependant précis ?*

Car c'est tout cela que demandent les topographes à un système d'avenir. Wild et Magnavox l'ont compris et ils l'ont exigé de leur système de positionnement par satellite GPS WM 101.

La photographie a été prise au stade olympique de Munich.

Editorial

A nos lecteurs

*Nous les prions d'excuser
ce retard de parution d'XYZ
bien involontaire.*

Merci

TRIMESTRIEL

Le numéro : 95 F
L'abonnement d'un an
(4 numéros) : 370 F

IMPORTANT

A partir du 15/2/87

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

Comité de lecture

PRESIDENT

Robert VINCENT
Ingénieur E.C.P.
Président de l'A.F.T.

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.
Roger SCHAFFNER
Géomètre DPLG
Bernard SCHRUMPF
Ingénieur en Chef
de l'Armement

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

Plaidoyer pour une profession, par Roger SCHAFFNER, président de l'AFT.....	3
Trois cents ans de géodésie française, par J.-J. LEVALLOIS	5

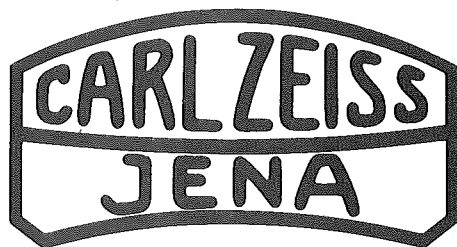
Rencontre AFT 86 Cachan

• Un succès pour une heureuse initiative de l'AFT..	19
• Mesure au fil et ruban d'Invar sur le polygone d'entraînement de l'école spéciale des travaux publics..	20
• Spot, par J.-P. LEGORGEU	21
• Le système GPS et son impact en géodésie, topométrie et cartographie, par C. BOUCHER et P. WILLIS.	23
• Informations	30
• Utilisation du système GPS pour la détermination des coordonnées précises d'un point, par G. BONIN..	31
• Tests réalisés par le WM 101, par Fritz K. BRUNNER et Steven M. CHAMBERLAIN	37
• Les exposants vous parlent	41

Répertoire des Annonceurs	43
---------------------------------	----

Colloque de Brest

• Localisation à grande portée. Positionnement en mer. Colonne de FRIGG Nord-Est, par J.-J. RIOU	44
• La bathymétrie et les aménagements portuaires, par M. PAUL	49
Photographie et méthodes de lever du relief. L'exemple des Vallot dans le massif du Mont-Blanc, par Monique PELLETIER	53
La vie de l'Association	59
Actualités AFT	62



UMK 1318, système modulaire de prises de vues photogrammétriques

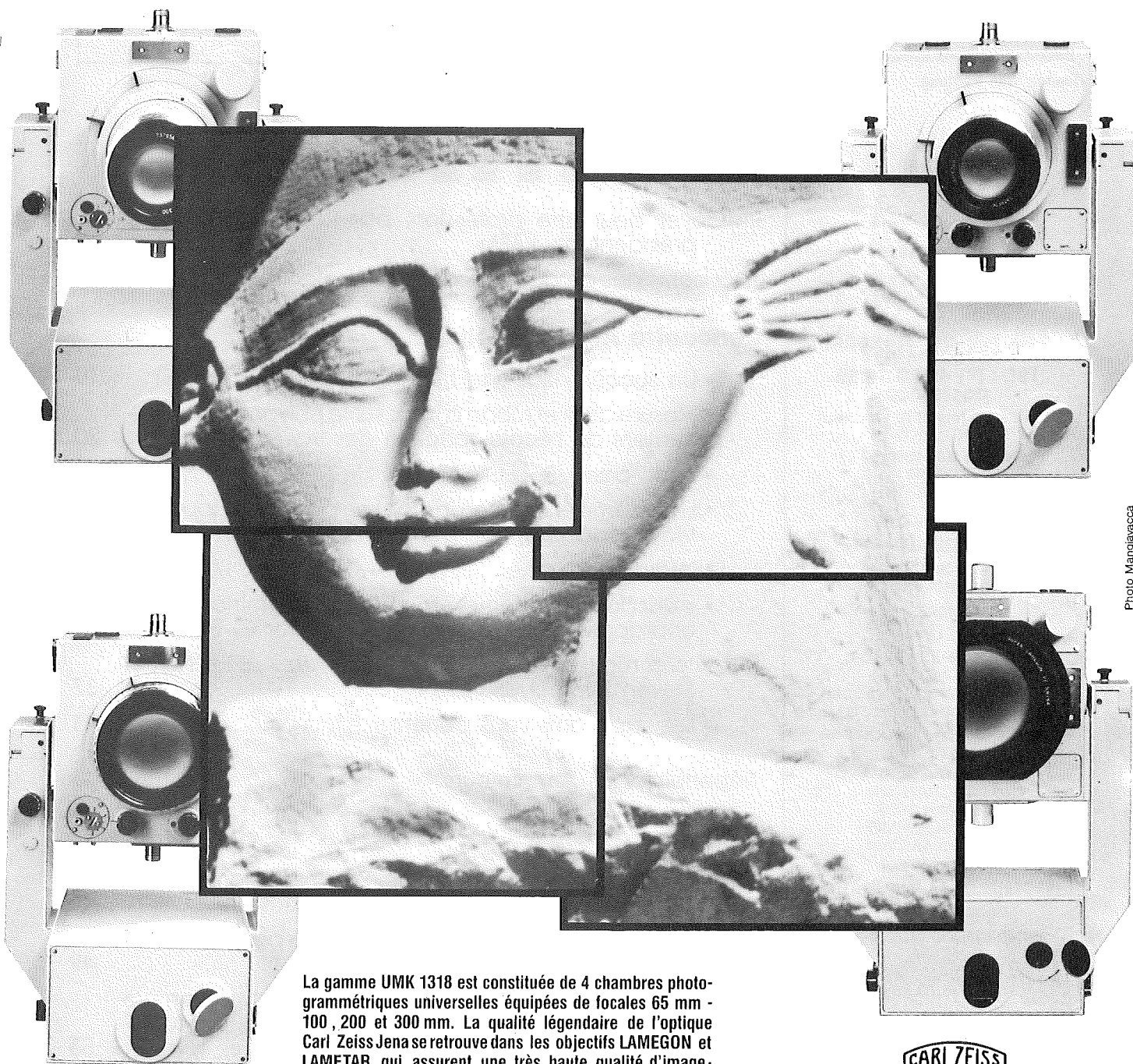


Photo Mangiavacca

La gamme UMK 1318 est constituée de 4 chambres photogrammétriques universelles équipées de focales 65 mm - 100, 200 et 300 mm. La qualité légendaire de l'optique Carl Zeiss Jena se retrouve dans les objectifs LAMEGON et LAMETAR qui assurent une très haute qualité d'image: noire, couleurs, infrarouge, etc.

Les prises de vues peuvent être faites en alternative avec plaques sensibles, film coupé ou rouleaux. Déclenchement de l'obturateur manuel ou électronique.

Cadence d'images: 3-4-5-6-8-10-15-20-25-30 secondes. Format utile d'image: 120 x 166 mm.

Sur option suspension verticale et unité pilote pour prises de vues aériennes.



Agent général pour la France VEB Carl Zeiss Jena

**COMPAGNIE GÉNÉRALE
DE PHYSIQUE**

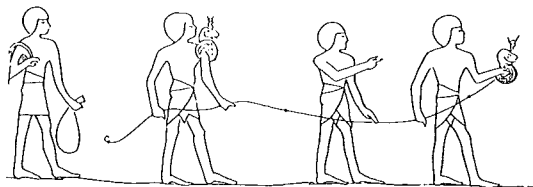
Assistance - Maintenance

48, Bd. de la Bastille 75012 PARIS - Tél.: (1) 43 44 12 34 - Télex: 220 231 Cogéphy Paris

Documentation détaillée sur demande auprès des agents généraux.

Plaidoyer pour une profession

par Roger SCHAFFNER
Président de l'AFT



Arpenteur égyptien faisant tendre le cordeau par ses aides. Le cordeau était divisé en 12 parties égales par des nœuds et chaque extrémité comportait une tête de bélier. La division en 12 parties permet, par le rapport 3-4-5, de construire un triangle rectangle et d'élever ainsi une perpendiculaire.

QU'EST-CE QU'UNE PROFESSION ?

Une vocation...

— exigeant une connaissance spécialisée et souvent une préparation longue et intensive, comprenant l'enseignement des techniques et méthodes ainsi que des principes scientifiques, historiques ou scolaires leur servant de base ;

— maintenant à force d'organisation ou d'opinion concertée, des niveaux élevés de réalisation et de moralité ;

— engageant ses adeptes à l'étude continue et à un certain rendu du travail avec pour principal but, l'accomplissement d'un service public.

Qui, pour maintenir... et faire progresser son intégrité, son honneur et sa dignité impose à ses membres une éthique respectant les quatre principes fondamentaux :

— utiliser ses connaissances et compétences au progrès du bien-être humain,

— être honnête et impartial, servir avec fidélité la communauté, ses employeurs ou ses clients,

— s'efforcer d'étendre la compétence de sa profession et,

— soutenir les organisations techniques et professionnelles représentant ses disciplines.

SOMMES-NOUS UNE OU PLUSIEURS PROFESSIONS ?

Il existe une grande confusion dans ce que sont les activités liées à la topographie et la cartographie (en général) et ce en quoi consistent les diverses contraintes qui s'appliquent en vue de l'obtention des résultats souhaités.

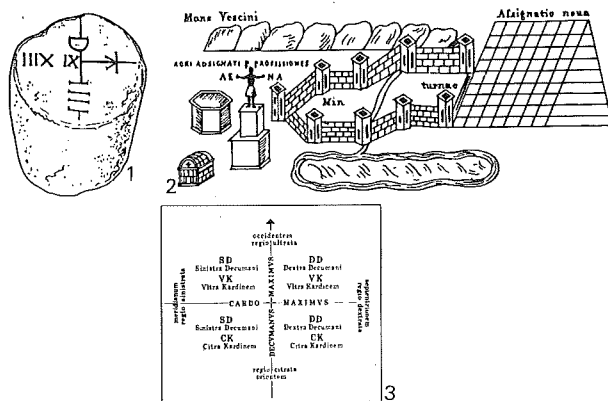
Le malentendu s'aggrave encore quand il s'agit de définir les multiples branches de notre profession (en général). Si les définitions sont relativement claires et faciles à établir en anglais et en allemand, il s'avère qu'en français il est pratiquement impossible de se faire comprendre, tant les termes équivalents nous font défaut.

Toujours est-il qu'une circulaire de l'US Army en date du 29.07.83, en matière de fournitures de travaux, nous donne certaines de ces définitions.

Définition générale

La topographie et la cartographie comprennent les acti-

vités associées au mesurage, à la localisation et à la préparation des cartes, plans et autres représentations graphiques ou numériques décrivant les caractéristiques physiques naturelles et artificielles des phénomènes et des limites légales de la Terre.



1. Borne de centuriation avec decussis donnant les directions orthogonales du kardo, K, et du decumanus, D, plus des Indications de distances. Diamètre : 40 cm ; hauteur : 78 cm. Museo della Civiltà Romana, salle XLIII. JPA. 2. La centuriation de Mintumo, d'après un dessin des Gromatici veteres. 3. La désignation des directions et des quadrants par l'agrimensor, en supposant que celui-ci regarde vers l'Ouest. JPA. Extrait du livre de Jean-Pierre Adam : la construction Romaine, matériaux et techniques, grands manuels Picard, 82 rue Bonaparte, Paris VI.

Définitions particulières

Elles servent surtout à faire ressortir la différence entre chaque branche, bien que les méthodes et moyens employés soient, à quelques détails près, identiques.

1) Le levé topographique (de génie civil)

Consiste en l'acquisition des données topographiques et cartographiques nécessaires à l'étude de projets de détail de construction d'ouvrages, d'urbanisme, d'exploitation, d'aménagement, des conditions d'implantation et d'édification d'ouvrages ainsi qu'aux études précises de stabilité structurelle ;

"en utilisant des instruments conventionnels et électroniques, la photogrammétrie, les satellites, la télédétection, l'inertiel et tous autres moyens et procédés appropriés".

2) Le levé hydrographique (maritime et terrestre)

Consiste en l'acquisition des données hydrographiques et cartographiques servant aux études de projets de construction d'ouvrages, de dragages, d'aménagement, d'opérations spécifiques liées au milieu ;

"en utilisant des instruments conventionnels et électroniques, la photogrammétrie, la télédétection, les satellites, le balayage au sonar latéral, le profilage des fonds immergés et tous autres moyens et procédés appropriés".

3) La topométrie foncière

Consiste en levés des propriétés, en repérage, piquetage et matérialisation des points de leurs limites, en vue d'aboutir à une description littérale et graphique des caractéristiques physiques et juridiques à faire apparaître dans les contrats ;

"en utilisant des instruments conventionnels et électroniques, la photogrammétrie, l'inertiel, les satellites (?) et d'autres moyens et procédés appropriés".

4) La géodésie

Comprend l'établissement des canevas de référence horizontaux et verticaux des trois premiers ordres, l'astronomie de position, les mesurages gravimétriques et de détermination des champs magnétiques, etc...

"en utilisant des instruments conventionnels et électroniques, la photogrammétrie, l'inertiel, les satellites et autres moyens et procédés appropriés".

5) Le levé cartographique

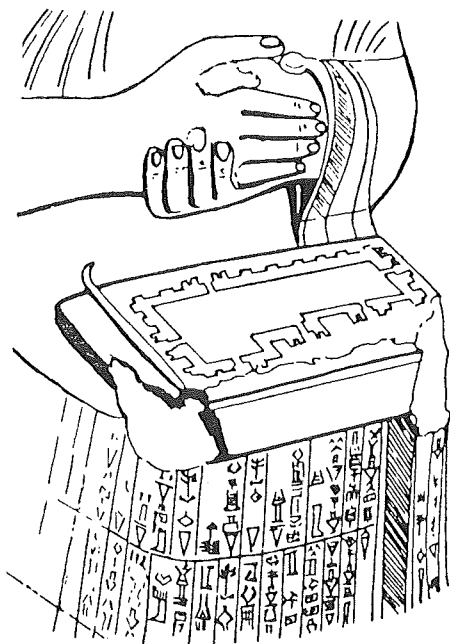
Consiste en l'acquisition des données topographiques, hydrographiques et cartographiques pour l'établissement des cartes géographiques, marines et produits similaires d'utilisation générale, autres que ceux réservés aux besoins particuliers évoqués en 1, 2 et 3 ci-dessus ;

"en utilisant des instruments conventionnels et électroniques, la photogrammétrie, l'inertiel, les satellites et autres moyens et procédés appropriés".

6) La cartographie géographique et marine

Comprend l'étude, la compilation, la digitalisation des données, l'établissement des minutes, le dessin, le tirage et la diffusion des produits cartographiques imprimés ou numérisés associés à ceux du génie civil, du foncier, de la géodésie et de la cartographie générale ;

"en utilisant les méthodes conventionnelles, photogrammétriques, électroniques, d'assistance par ordinateur et autres procédés appropriés".



Statue du roi et ingénieur Gudéa de Lagasch (2050 ans avant J.-C.) tenant sur ses genoux un plan d'aménagement babylonien.

Certaines opérations techniques, telles que la prise de vue aérienne, ne sont pas considérées comme exécution de levé, à moins qu'elles ne soient prévues par un contrat plus étendu de production topographique ou cartographique.

A première vue ces activités semblent être différentes entre elles et l'on est tenté de distinguer dans chacune une profession à part et, pourquoi pas sous cette dernière encore d'autres. Par exemple, il y a le topogra-

phe de surface, celui des mines, celui qui recherche le micron. Il ne suffit pas non plus de savoir mesurer un enchaînement de triangles pour se qualifier de géodésien ; comme un sondeur d'étang et de rivière ne saurait se prétendre hydrographe de la Marine. On peut être un très bon dessinateur topo sans pour autant savoir établir une carte générale, même assisté par un ordinateur. Raisonner ainsi, par l'absurde, du détail au général, nous amène à considérer chaque branche comme une véritable entreprise rassemblant divers spécialistes élaborant ensemble un produit universel ou hybride ; le fait, par ailleurs, de lier et coiffer plusieurs branches relève du "trust" que seul un organisme d'Etat peut gouverner, tout en abandonnant les nombreuses tâches subalternes, non nobles, à des tâcherons extérieurs et dispersés ; que nous classerions où ?

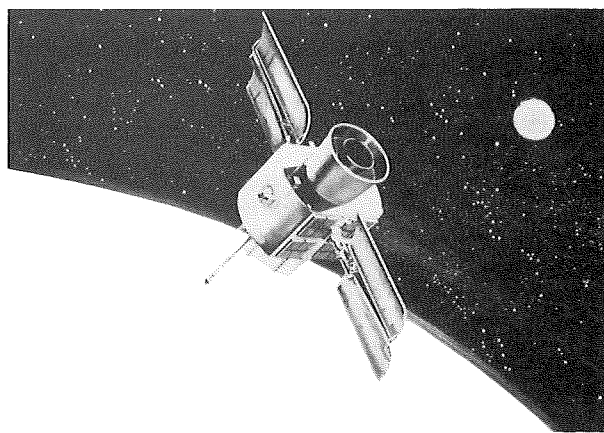
NON ! J'estime pour ma part que nous formons une seule et unique profession : celle de mesurer la Terre sous tous ses aspects, tout ce qui s'y édifie et qui s'y rattache. Nous poursuivons peut-être des buts différents, pour présenter des produits particuliers à chaque cas, mais nous mesurons, et mesurons en conséquence comme déjà dit ; qui au mètre, au centimètre, au millimètre, au micron ou au décamètre près, c'est selon. Nous mesurons, dimensionnons, apprécions, supputons, auscultons, implantons et contrôlons ; toujours en mesurant et ce que mesure l'un ne sert pas nécessairement à l'autre.

On peut appeler cela Géodésie, Hydrographie, Topographie, Topométrie, Photogrammétrie, Géométrie, Télé-détection, Nivellement, Cartographie, comme on voudra ; pour nous cela se traduira toujours par "mesurage". Pour les Suisses c'est bien "la Mensuration", pour les germanophones "das Vermessungswesen", comme pour les anglophones "the Survey". C'est d'ailleurs sous ces appellations que se sont formées de puissantes associations dont le nombre d'adhérents fait envie et représente toutes les catégories de praticiens provenant des différents secteurs d'activité. Ces organismes sont capables de représenter et de défendre auprès des autorités gouvernementales et des pouvoirs publics, qui les consultent volontiers, les intérêts généraux de l'ensemble de la profession. Ils n'empêchent nullement, au contraire soutiennent en y participant, les négociations catégorielles particulières, etc., etc...

En 1977, je me suis fixé pour but la création d'une telle association.

En 1978, nous sommes parvenus à faire naître l'Association Française de Topographie.

Maintenant, presque 10 ans après, il ne tient qu'à tous ceux qui croient encore en leur "vocation" de faire en sorte pour transformer un rêve en réalité.



Satellite Systeme GPS.

Trois cents ans de géodésie française (suite)

par J.-J. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe

XII — Le Service Géographique de l'Armée Le Service du Nivellement Général de la France — Travaux Géodésie de Guerre

La III^e République institua les deux établissements essentiels qui pendant 60 ans eurent la responsabilité de la description géométrique et géographique du pays et de son nivellement de précision.

- le Service Géographique de l'Armée (SGA)
- le Service du Nivellement Général de la France (NGF)

Il convient de donner quelques détails sur les circonstances de leur conception et de leur institution.

Le Service Géographique de l'Armée

Sa création est l'aboutissement d'une série complexe de transformations que subirent l'Etat-Major et le Dépôt de la Guerre, à la suite de la défaite de 1870-1871. Ce dernier avait été incapable pendant la guerre d'alimenter les armées en documents cartographiques : on avait bien distribué aux troupes les cartes étrangères, mais l'invasion du territoire national n'était pas prévue, de sorte que la carte de l'Etat-Major au 1/80 000 dont les derniers levés étaient achevés en 1867 (et la dernière gravure en 1880) ne servit à rien pour les opérations militaires, d'autant plus que les planches de reproduction des feuilles avaient été expédiées en secret à Brest avant l'investissement de Paris, sans que les armées en campagne en aient été informées ! (41).

Dès le mois de juin 1871, le Dépôt de la Guerre, autrefois Direction, est rattaché à l'Etat-Major de l'Armée auquel il est étroitement subordonné.

En 1874, la Section de Géodésie forme avec quelques autres Services, le 6^e puis le 5^e Bureau de l'Etat-Major — le Service Historique en est disjoint (1876).

En 1880, le Corps d'Etat-Major est supprimé, en 1881, le Dépôt de la Guerre est reconstitué et devient Sous-Direction, sous le nom de Section Géographique.

F. Perrier qui n'est pas étranger à toutes ces transformations en prend le commandement. Il s'efforce d'y rattacher quelques organismes autonomes de topographie organisés dans l'Arme du Génie tels que les organes cartographiques du Dépôt des Fortifications, le Dépôt des Instruments de Précision, et finalement un Décret du 24 mai

1887 supprime le Dépôt de la Guerre, crée un établissement officiel confié à un Directeur placé immédiatement sous les ordres du Ministre : le Service Géographique de l'Armée, chargé de la Géodésie, de la topographie, de la cartographie, en un mot l'héritier du Dépôt de la Guerre pour tout ce qui concerne la description géographique. Perrier, qui depuis 1882 y avait donné une impulsion nouvelle en fut nommé le Directeur (41). Il mourut en janvier 1888 mais l'organisme qu'il venait de faire créer et les cadres qu'il avait formés au cours des années précédentes étaient prêts à assumer la succession. Le programme de travaux géodésiques du nouvel établissement était évidemment lié aux programmes cartographiques militaires en France et en Algérie, mais il ne pouvait être indépendant de ceux que préoyaient le Ministère de l'Intérieur, le Ministère des Finances (qui étudiait une refonte complète du cadastre) et le Ministère des Travaux Publics.

Il fallait donc un organisme de liaison.

Par décret du 10 juin 1891 était institué au Ministère de la Guerre une Commission Centrale des Travaux Géographiques. Elle était chargée d'étudier l'éternel problème de la cartographie française : est-il possible d'en confier la responsabilité à un établissement unique, sachant que :

- les travaux cartographiques exigent des exécutants très spécialisés, de longs délais d'exécution, des crédits importants, qui sont en général rapidement rognés ;

- ils ne sont jamais terminés car, vu la durée d'exécution d'un programme, vu l'évolution de la Société, des besoins, des méthodes, le produit cartographique est dépassé lorsqu'il est achevé ;

- la carte est une production peu spectaculaire, politiquement non rentable ;

- les besoins des usagers sont variés et parfois inconciliables ;

- il est très difficile d'assurer une coopération sans arrière-pensée des Services publics responsables d'une partie de la description géométrique ou cartographique ou de l'exploitation d'un de ses thèmes, chacun se trouvant très bien chez soi et se retranchant derrière sa spécificité, tout en extrapolant ses attributions strictes, de manière plus ou moins avouée, la main sur le cœur.

En l'occurrence, à peine la carte au 1/80 000 était-elle achevée que l'on se rendit compte qu'elle était insuffisante à beaucoup de points de vue et qu'une nouvelle carte à plus grande échelle était nécessaire. Des études avaient été préparées dans

ce sens au Dépôt de la Guerre puis à la Section géographique qui présenta à la Commission un projet de carte au 1/50 000 en couleurs.

La Commission Centrale des Travaux géographiques en admit le principe et le Ministre de la Guerre en fit étudier les modalités d'exécution.

On désigna une sous-commission d'Etude (6) qui, reprenant les arguments de la Commission Royale de 1817 déclarait dans son rapport (1897).

"... Revenant aux idées qui prévalaient au commencement du siècle, il importe d'affirmer de nouveau l'avantage d'établir une connexion étroite entre le nouveau cadastre et l'exécution de la carte générale ; il faut, en associant au Service du Cadastre et au Service Géographique de l'Armée chargés des opérations sur le terrain, le Service du Nivellement Général, dont les travaux peuvent être utilement employés, proclamer la nécessité de créer l'entente entre les trois services, faire la répartition du travail suivant leurs attributions ordinaires, et enfin créer un centre qui maintienne l'harmonie et l'unité d'action, de manière à assurer la convergence des efforts vers le but à atteindre".

En même temps, le projet proposait, d'accord avec la Sous-Commission du Cadastre, d'appuyer

les levés cadastraux sur une triangulation régulière obtenue par révision et reprise de la triangulation des IG en poussant les travaux dans les zones intéressées jusqu'au 3^e ordre, de façon à appuyer une triangulation cadastrale, dite de 4^e ordre, ayant la densité de 1 point par kilomètre carré.

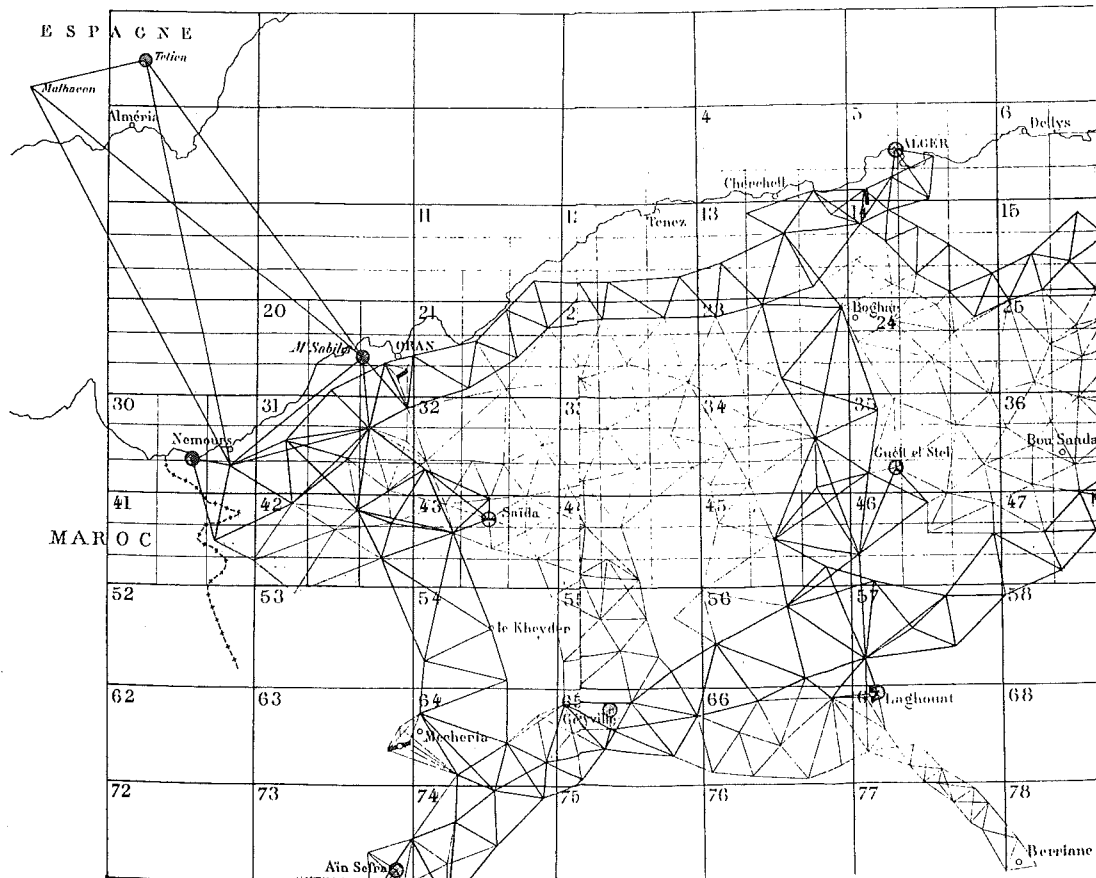
Tout ceci en fait visait à doter la France d'un canevas trigonométrique correct. La triangulation des IG base de la carte au 1/80 000 ne pouvait guère convenir, contrairement aux espoirs de la Sous-Commission.

— elle aurait peut-être été suffisante quant à la précision **locale** de son réseau de 1^{er} ordre, mais le réseau du 2^e ordre était assez expédié ;

— on sait d'autre part qu'elle n'était pas compensée et qu'on s'était contenté de l'homogénéiser feuille par feuille ce qui posait aux limites de ces feuilles des problèmes de raccord délicats ou même inextricables ;

— la signalisation au sol avait en grande partie disparu, et il était donc impossible de s'y rattacher.

Il fut donc décidé que la triangulation générale du pays serait refaite par le Service Géographique de l'Armée, en s'appuyant sur la Méridienne de France observée par F. Perrier et ses disciples : La Nouvelle Triangulation était née.



1902 — Triangulation d'Afrique du Nord — Partie Ouest.

L'œuvre géodésique du SGA de 1890 à 1914

En dehors des mesures gravimétriques de Deforges que nous avons évoquées précédemment, l'activité géodésique du Service Géographique de l'Armée, fut entièrement consacrée aux travaux de triangulation.

Il s'agissait d'observer et de calculer les canevas géodésiques

- d'Algérie et de Tunisie
- de la France métropolitaine, conformément au vœu de la Commission Centrale des travaux géographiques ;
- de procéder à l'instruction des géodésiens destinés à opérer sur les territoires des "colonies"... Madagascar, Indochine ;
- de participer partiellement ou totalement à certaines tâches scientifiques internationales demandées par l'Association géodésique internationale, dont Faye avait été élu président en 1892.

Les travaux d'Algérie et de Tunisie que Perrier n'avait fait qu'amorcer (parallèle nord, méridienne de Laghouat) furent poussés avec activité. Le réseau de 1^{er} ordre et de 1^{er} ordre complémentaire, couvrait déjà vers 1902 la quasi-totalité des territoires (voir carte du réseau fin 1902). C'est ce réseau qui, complété par des observations de 2^e et 3^e ordres a servi de base à toute la cartographie de l'époque en Afrique du Nord. Il comporte :

— le parallèle Nord, de Nemours, aujourd'hui Ghazaouet (frontière marocaine) à Tunis et au Cap Bon avec liaison vers la Sicile par Pantelleria ;

— le parallèle Sud, d'Ain Sefra à Gafsa, Medenine par Biskra ;

— 4 chaînes méridiennes, d'Oran à Ain Sefra, d'Alger à Laghouat, de Constantine à Biskra, de Carthage, Tunis à Medenine ;

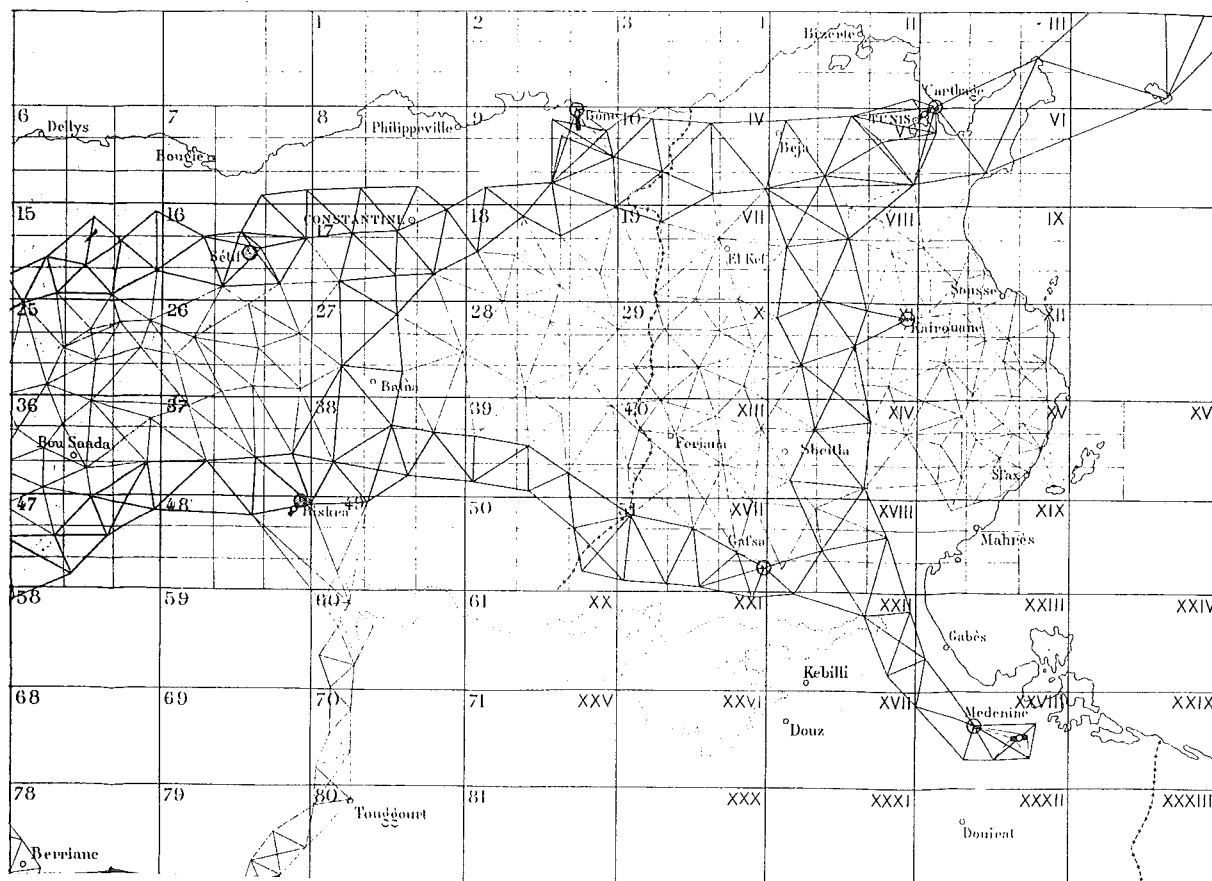
— les blocs correspondants de 1^{er} ordre complémentaire.

En France, la méridienne était complétée comme on l'a vu, par les mesures des bases. En 1900 on commence, conformément aux conclusions de la Commission Centrale des Travaux Géographiques, la réfection du parallèle de Paris (section Est) avec observation de la liaison avec la triangulation allemande dans les Vosges, demandée par l'Association Géodésique Internationale.

En 1903 débutent les observations du parallèle moyen, à l'est de la méridienne de France.

La méridienne de Lyon, reconnue en 1904, sera poussée depuis la région de Toul vers le Sud (1905-1907) et rejoindra le parallèle de Lyon en 1908. Elle sera prolongée vers le Sud en 1910, en direction d'Aix.

En 1913, on reconnaît le parallèle d'Avignon (section Est) jusqu'à la jonction de la méridienne de Lyon. Les observations commencées en 1914 seront interrompues par la déclaration de guerre.



1902 — Triangulation d'Afrique du Nord — Partie Est.

On pourrait croire que les efforts des géodésiens du SGA n'auraient fourni que d'assez maigres résultats, mais il doit être dit que depuis 1901 une haute priorité était attribuée à une mission scientifique internationale qui drainait une partie importante des effectifs et des moyens.

L'arc méridien de l'Equateur

En 1889, l'Association géodésique internationale décidait de reprendre deux mesures d'arc aussi distantes que possible en latitude, comme l'avaient fait Maupertuis et Bouguer-La Condamine 150 ans auparavant. Elle choisit le Spitzberg pour l'arc du Nord, sur proposition de la Russie et de la Suède, qui se chargèrent du travail.

Il fut également décidé de reprendre la mesure de la méridienne de Quito. La situation politique avait bien évolué depuis le XVIII^e siècle. Après la révolte des colonies espagnoles, le Royaume du Pérou avait été partagé en un certain nombre de républiques, Venezuela, Colombie, Equateur, Pérou, Bolivie, Chili ; c'est sur le territoire de la République de l'Equateur que se trouvait la partie principale de l'arc à observer. L'Equateur n'était pas membre de l'Association et n'avait pas l'intention de prendre l'opération à sa charge, mais se déclarait prêt à accueillir la mission qui en serait chargée.

Les Etats-Unis firent savoir que si la France, dont on reconnaissait la priorité morale, n'était pas décidée à l'exécuter, le Coast and Geodetic Survey poserait sa candidature (1898).

Le Gouvernement français saisit l'Académie des Sciences, lui demanda un avis circonstancié (juin 1900). Le rapport fut présenté par Henri Poincaré. Il concluait en proposant :

— que l'Académie émette un avis favorable au projet

— que l'exécution soit confiée au Service Géographique de l'Armée pour la partie géodésique, que l'on multiplie les mesures de pesanteur ;

— que l'Académie des Sciences en exerce le patronage, le contrôle scientifique et désigne à cet effet une Commission permanente.

Ce rapport fut adopté.

Pour sa rédaction H. Poincaré disposait d'un document technique très précis ; dès 1898 une reconnaissance avait été envoyée sur place par le SGA... Les capitaines Maurain et Lacombe avaient pu évaluer les possibilités "logistiques", communications, transports, main-d'œuvre et reconnu une chaîne de triangulation de 6 degrés d'extension, empiétant très légèrement au Nord sur le territoire de la Colombie, au Sud sur celui du Pérou, et s'étendant essentiellement sur celui de la République de l'Equateur.

Leur schéma de reconnaissance, suivant en gros la chaîne des Académiciens du XVIII^e siècle dans la partie centrale.

Il s'appuyait sur trois bases, Cumbal au Nord (Colombie), Riobamba au Centre (Equateur), Quiroz au Sud (Pérou).

ARC MÉRIDIEEN DE QUITO

Partie Nord de la Triangulation

Signes conventionnels

Côté de la Triangulation

Base géodésique

Différence de Longitude

Ascendant

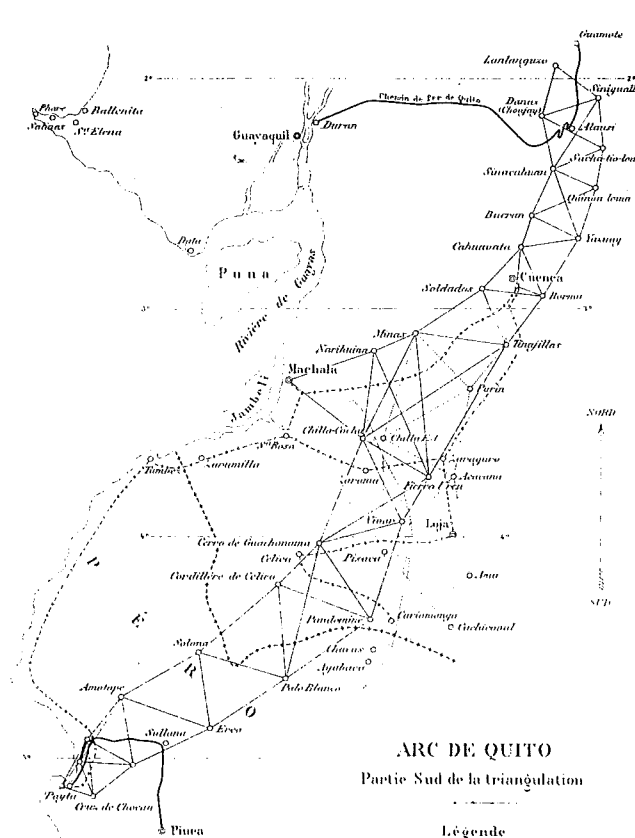
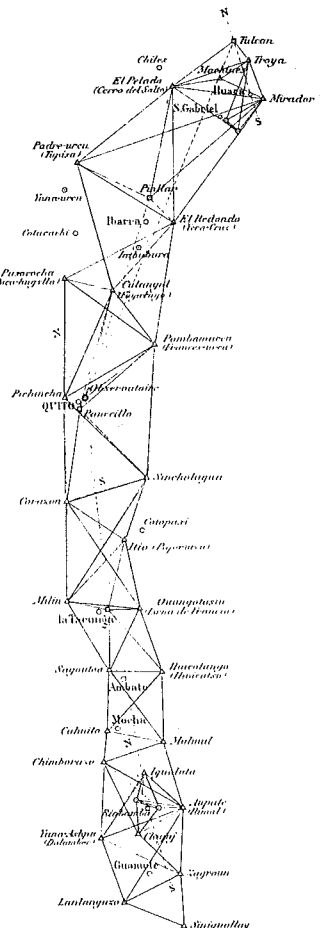
Sommet géodésique

Station astronomique

Observatoire de Quito

Localités importantes

Somets de montagnes



ARC DE QUITO

Partie Sud de la triangulation

Légende

- Enchaînement projeté en 1907
- Enchaînement établi en 1898
- Lignes télegraphiques
- Limite des grandes altitudes de la Cordillère

Trois stations astronomiques fondamentales où l'on devait déterminer latitude, longitude télégraphique, azimut étaient prévues à Cerro de Pasto (Colombie), Quito (Equateur), en bout de chaîne, à proximité de la base Sud (Pérou).

Guayaquil, le grand port était relié par câble sous-marin au réseau télégraphique général et pouvait communiquer télégraphiquement avec les trois stations astronomiques fondamentales.

Nous ne nous étendrons pas sur les opérations de terrain qui furent poussées selon les méthodes et avec les instruments classiques mis au point par F. Perrier au SGA. Les travaux de terrain prirent cinq ou six ans, les derniers opérateurs rentrèrent en 1907. On consultera le schéma de triangulation effectivement observé.

Bien qu'ayant reçu un appui solide du Gouvernement de la République de l'Equateur, les travaux ne furent pas de tout repos ; les observateurs se plaignirent amèrement des difficultés météorologiques. Ils avaient placé leurs signaux sur les sommets, les observations ne pouvaient s'effectuer que pendant les rares éclaircies. Certaines stations durèrent trois mois pendant lesquelles l'observateur restait sur place en attendant les visibilitées...

Enfin la mission se heurta à un certain nombre de difficultés administratives concernant en particulier l'octroi des crédits. Il fallut toute la persuasion de l'Académie des Sciences pour que l'arc soit poussé jusqu'aux 6° d'amplitude prévus initialement, malgré les invitations des autorités françaises à en limiter l'amplitude à 4° 1/2 (réductions de crédits).

Un don très important du Prince Roland Bonaparte (100 000 francs or) vint à point nommé subvenir au déficit — mais entre temps la légende veut que le Chef de mission ait été amené à engager la règle étalon en platine, au Crédit Municipal de Quito pour pouvoir faire subsister son équipe.

Les résultats dont la publication a fait l'objet d'un certain nombre de volumes in quarto n'ont pas été entièrement exploités, en France du moins, jusqu'au calcul complet de l'arc. Les observations ont été toutes disponibles et publiées, mais Georges Perrier, le fils de François Perrier, qui avait participé à la mission, pris par de multiples occupations ne put jamais pousser jusqu'à la compensation définitive. Il semble bien cependant que P. Tardi, fidèle disciple de G. Perrier, ait poussé les travaux plus loin (CRADS 1956) mais les calculs ultérieurs qu'il entreprit n'ont pas été retrouvés.

De l'enseignement de la géodésie

Il est curieux de constater que la géodésie n'a pas fait en France avant une époque récente le sujet d'un enseignement systématique et suivi dans l'Université. Elle fut longtemps pratiquée par des astronomes comme on a pu le voir. Au XIX^e siècle, les travaux essentiels furent l'apanage de quelques astronomes, Laplace, Arago, Le Verrier, Villarceau, Faye, des ingénieurs géographes et des officiers de l'Etat-Major, puis du Service Géographique de l'Armée.

On a vu que Puissant l'enseignait au Dépôt de la Guerre.

Seule l'Ecole Polytechnique, où d'ailleurs se

recrutaient la plupart des géodésiens de l'Etat-Major et du SGA, professait un enseignement suivi de géodésie et astronomie.

Depuis sa création, dix neuf professeurs s'y succédaient, notamment :

1873 : Faye ; 1893 : O. Callandreau ; 1904 : H. Poincaré ; 1908 : R. Bourgeois.

En 1904, le Général André, Ministre de la Guerre, supprima le cours, le trouvant sans intérêt. La suppression souleva une tempête académique, Poincaré s'éleva fortement contre cette mesure et proposa — ce qui fut accepté — de se charger gratuitement de cet enseignement. On ne pouvait trouver maître plus compétent et plus célèbre. Mais le Général André veillait ; j'extraits d'une lettre inédite du Colonel Bourgeois, Chef de la Géodésie du SGA adressée à H. Poincaré le savoureux passage suivant (21 mai 1904) :

"... Le Général Berthaut, alors directeur du SGA, m'a fait appeler ce matin à l'issue du Conseil de direction tenu aujourd'hui sous la présidence du Ministre. Où en est le cours de géodésie ? a dit ce dernier. M. le Ministre, nous attendons vos décisions pour nous y conformer. L'Ecole Polytechnique et l'Institut m'embêtent. J'ai décidé de couper court aux réclamations de Poincaré, de Bouquet de la Grye et de Berthelot. Vous allez immédiatement faire mettre à l'Officiel une décision signée de moi, disant que le Service Géographique ouvrira à partir du mois de janvier un cours de géodésie et d'astronomie dont vous donnerez le programme, et que les personnes désireuses de prendre des inscriptions devront vous en envoyer la demande..."

Ainsi fut fait (mai 1904). La chaire de géodésie et d'astronomie de l'Ecole Polytechnique fut réouverte en 1908, et confiée au Général Bourgeois, quant au cours de géodésie du SGA, il existait encore en 1939, suivi par les géodésiens — je l'ai suivi moi-même en 1938 — et par des ingénieurs extérieurs, Cadastre, Ponts et Chaussées. L'Ecole des Sciences Géographiques en a poursuivi la tradition.

Le Service du Nivellement Général de la France

Bourdaloue avait ouvert la voie pour constituer un réseau général couvrant le territoire, et pendant une vingtaine d'années ce réseau fut le seul système à peu près homogène susceptible de ramener les nivellements locaux à une référence unique, pour les besoins des travaux publics.

En 1878, de Freycinet, Ministre des Travaux Publics, créait par arrêté du 5 octobre une Commission centrale du Nivellement.

L'article premier définissait ainsi ses attributions :

"Une Commission est instituée sous la Présidence du Ministre des Travaux Publics pour arrêter les bases d'un nivellement général de la France, en vue d'obtenir la figuration d'un terrain au moyen de courbes tracées de 20 mètres en 20 mètres sur la carte de France entreprise par le Service vicinal". (42)

La Commission s'adjoignait quelques mois plus

tard, après accord des Ministères intéressés, des représentants du Ministère de l'Intérieur et du Ministère de la Guerre.

Après étude soignée elle proposa le programme suivant :

1) Implantation d'un réseau de nivellement de précision le long des voies de communication principales et des cours d'eau les plus importants, soit un développement de 25 000 kilomètres environ ;

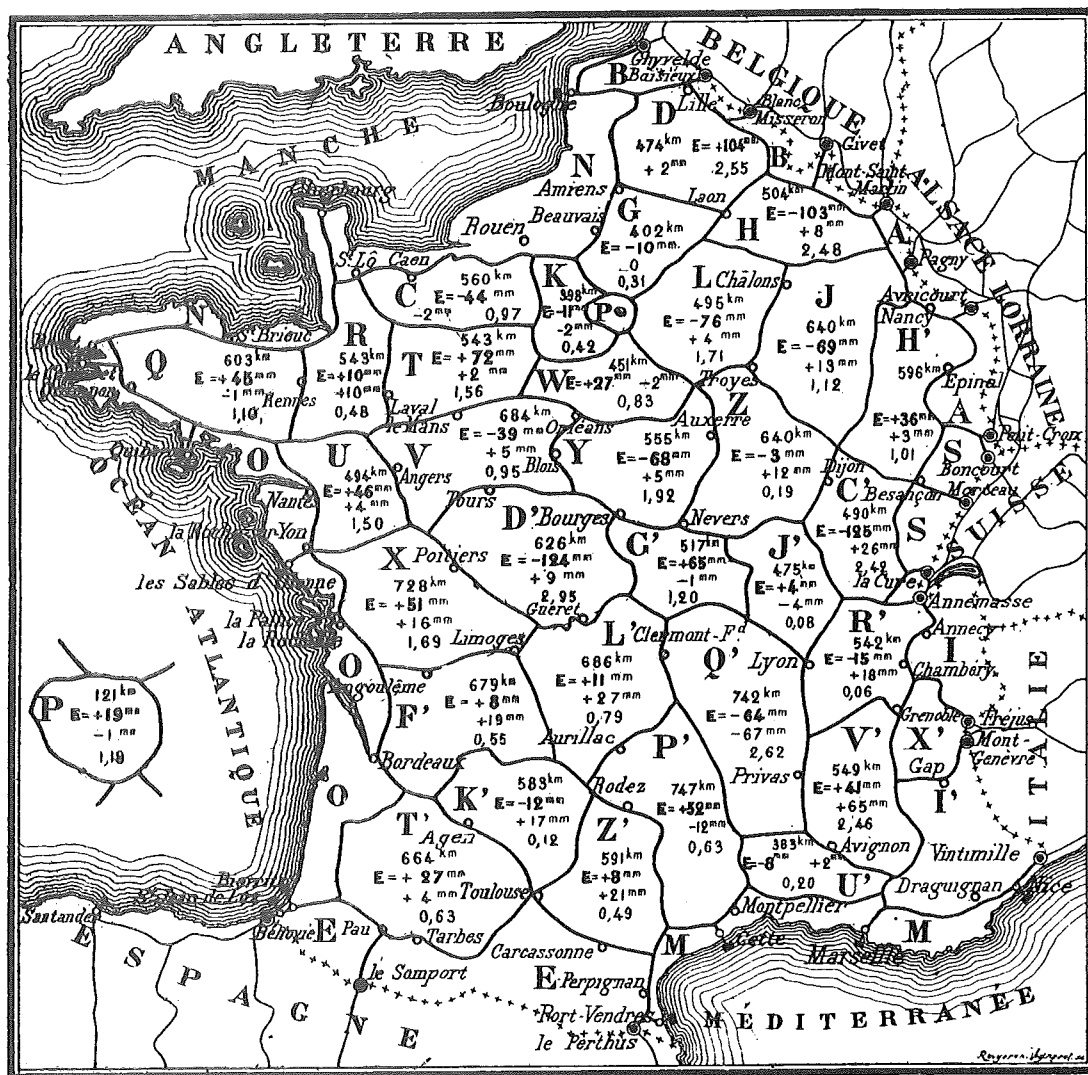
2) Un nivellement intercalaire d'un développement de 840 000 kilomètres (je dis huit cent quarante mille kilomètres !).

3) Ce nivellement — interpolé s'il était nécessaire — devait permettre un report des courbes de niveau à l'échelle du 1/10 000, sur des réductions à cette échelle des plans cadastraux.

Elle proposait que le nivellement des traverses soit confié au Département des Travaux Publics, le Département de la Guerre étant plus spécialement chargé des reports planimétriques et du tracé des courbes de niveau.

Un projet de loi fut soumis au Parlement, révisé par la commission parlementaire, mais il ne fut pas

RÉSEAU FONDAMENTAL DU NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE.



LÉGENDE.

—	Lignes du réseau fondamental.	626 kilom.	Développement du périmètre....
—	Lignes appartenant à des nivellements étrangers.	E = - 124 mm	Écart brut de fermeture.....
—	Marégraphes et médarmètres.	+ 9 mm	Correction orthométrique de fer-
—	Raccordements avec les pays étrangers.	2,95	meture.....
K, D, A	Lettres indicatrices de polygones ou de zones péri-		Rapport de l'écart corrigé à l'écart
	phériques.		probable de fermeture.....

(1) On a nivelé, en outre, avec les méthodes adoptées pour le réseau de premier ordre, 705 kilomètres de lignes du réseau de deuxième ordre aboutissant, soit à des marégraphes ou médarmètres établis sur le littoral, soit aux repères-frontières de jonction du réseau français avec les nivellements des pays voisins.

discuté, on se borna à attribuer quelques crédits d'attente pour la révision du réseau de Bourdaloue.

Le 6 mars 1884, une décision du Ministère des Travaux Publics créait auprès de la Commission un petit service embryonnaire de nivellement — dont trois brigades d'opérations sur le terrain — placé sous les ordres de Ch. Lallemant, Ingénieur en Chef des Mines, qui avait assumé les fonctions de secrétaire de la Commission.

Ce petit service se mit à l'œuvre et commençait l'observation d'un réseau de 1^{er} ordre où certaines traverses des réseaux de Bourdaloue furent incorporées. Ce réseau de 12 400 kilomètres fut observé à raison de 1 500 kilomètres par an environ. Il était achevé en 1892.

Entre temps par arrêté Ministériel (1891) était créé auprès des Travaux Publics le Service du Nivellement Général de la France :

“Le Ministre des Travaux Publics... arrête :

Art. 1 : Un service spécial est organisé pour l'exécution des opérations du nivellement général de la France. Ce service sera placé sous la direction d'un Ingénieur en Chef des Mines ou des Ponts et Chaussées...

Art. 2 : L'Ingénieur en Chef du NGF dirigera les recherches scientifiques et les opérations de terrain en se conformant aux instructions arrêtées par l'Administration Supérieure, sur l'avis de la Commission du Nivellement... (42)”.

Cet arrêté sonnait sans trop s'en douter le glas de la tentative d'exécution d'une carte au 1/10 000, basée sur les levés cadastraux, dont avaient rêvé initialement les membres des deux Commissions. En même temps, il condamnait implicitement le programme trop grandiose d'un développement de 840 000 kilomètres de nivellement de précision, car les crédits du Service étaient attribués annuellement sur le budget des Travaux Publics sur une base égale à environ 1,5 fois l'allocation annuelle qui avait été attribuée en 1884 ; il aurait fallu, quel que soit le dynamisme du nouveau service, plusieurs siècles pour le mener à bien.

Réseau du NGF

Le réseau du Nivellement Général de la France (NGF) est décrit en détail dans (42). Il se compose essentiellement, comme la Commission Centrale du Nivellement l'avait prévu, d'un réseau de 1^{er} ordre d'environ 12 000 kilomètres, ou réseau fondamental composé de 32 mailles fermées ; elles sont reliées aux marégraphes, médimarémètres ou aux stations de jonction internationales par des antennes. Le réseau de 1^{er} ordre a été observé de 1884 à 1892. Des instructions très minutieuses fixaient le mode opératoire sur le terrain. Les niveaux utilisés étaient des niveaux à fiole et à lunette réversibles, niveaux Berthelemy — descendants en ligne directe des niveaux d'Egault utilisés par Bourdaloue. Les mires étaient des mires en bois “à compensation” portant à leur intérieur une règle métallique, ou ultérieurement en invar, permettant d'en suivre sur le terrain les variations de longueur donc de la ramener à l'étalonnage initial.

L'origine des altitudes fut fixée au zéro du marégraphe totalisateur de Marseille, Anse Calvo, Promenade de la Corniche, qui diffère peu de l'origine Bourdaloue dont la cote serait — 0,071 m dans le système NGF.

Le réseau de 2^e ordre était terminé en 1899 : c'est une simple décomposition du 1^{er} ordre en mailles plus petites.

La statistique des erreurs de fermeture du réseau du 1^{er} ordre s'établit ainsi :

12 mailles entre 0 et 25 millimètres
7 mailles entre 25 et 50 millimètres
7 mailles entre 50 et 75 millimètres
2 mailles entre 75 et 100 millimètres
4 mailles entre 100 et 130 millimètres

La longueur moyenne d'une nivelée, c'est-à-dire de la distance entre mire avant et mire arrière est de l'ordre de 130 à 140 mètres en plaine et de 90 à 100 mètres en pays de montagne.

La compensation du réseau de 1^{er} ordre fut achevée une première fois en 1896 puis reprise en 1898 après réobservation de quelques stations défaillantes. Ch. Lallemant, en général assez prolixe, est très laconique sur cette compensation qui a probablement été étudiée et contrôlée par M. d'Ocagne, son adjoint de 1891 à 1901. Elle fut exécutée par la méthode des équations conditionnelles en écrivant que la somme des dénivelées compensées des sections fermait chacun des 32 polygones à zéro, et que la somme pondérée des carrés des corrections était minima (90 inconnues — 32 conditions) ; le poids de chaque section étant proportionnel à l'erreur probable de la dénivelée de la section ; 80 % des corrections de compensation des sections sont inférieures à 20 millimètres, la plus forte est de 65 millimètres (section D'X).

L'écart probable kilométrique par la fermeture des mailles est de $\pm 1,7$ mm.

Le réseau de 2^e ordre a été compensé maille par maille sur le réseau de 1^{er} ordre définitivement arrêté.

Une compensation générale incluant à la fois le 1^{er} et le 2^e ordres a été calculée, les altitudes résultantes dites “rationnelles” n'ont pas été officialisées.

Comparaison avec le réseau Bourdaloue

Le service du NGF pouvait alors, procéder à une comparaison entre les altitudes des points communs à son réseau et à celui de Bourdaloue. Le résultat est schématisé dans la figure (51) où les lignes sinueuses cotées représentent les différences entre nivellement Bourdaloue et NGF. Ces discordances sont dues d'une part aux erreurs systématiques des deux opérations, en particulier à celles du nivellement Bourdaloue que Goulier avait étudiées et dont il s'était efforcé de le corriger, mais également au fait que le calcul du réseau de Bourdaloue ne paraît pas avoir été conduit de manière très rigoureuse, de sorte que certaines distorsions sont artificielles et dues à une méthode de calcul vraisemblablement très empirique. Nous insistons moins sur ce point s'il n'avait engendré des erreurs et des controverses comme nous le verrons plus loin.

**CORRECTIONS DES ALTITUDES BOURDALOUE,
D'APRÈS LE NOUVEAU NIVELLEMENT GÉNÉRAL.**

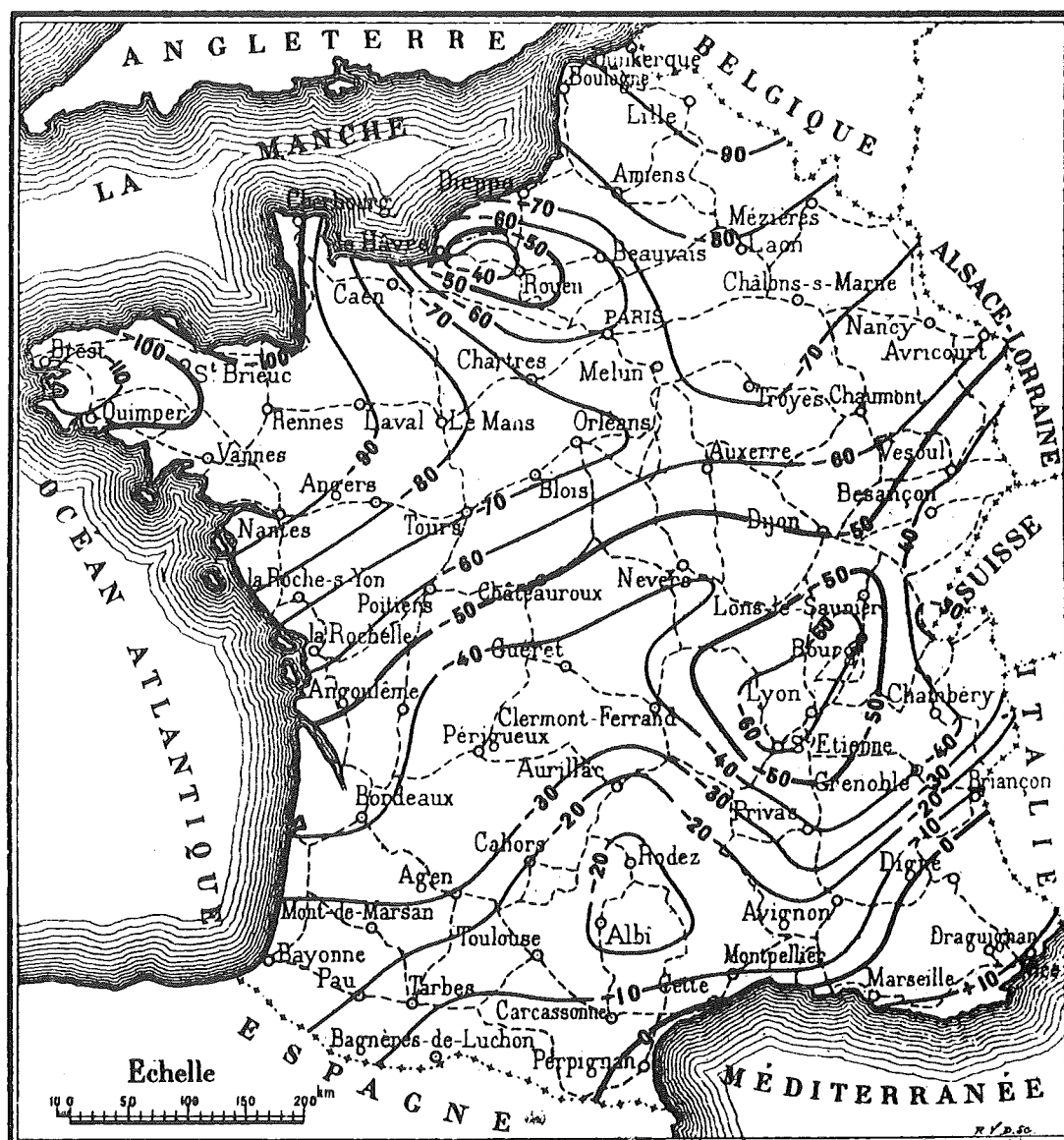


Fig. 51

LÉGENDE:

- Lignes du nivellement de Bourdalouë.
- Courbes d'égales discordances entre les altitudes Bourdalouë et les altitudes orthométriques des mêmes repères, d'après le nouveau nivellement général.
- Les cotes inscrites sur les courbes expriment, en centimètres, les corrections.

A partir de 1900, le Service du Nivellement poursuivit ses travaux en attaquant l'observation du réseau de 3^e ordre (50 000 kilomètres) et en amorçant le réseau de 4^e ordre. Mais la faiblesse des moyens accordés ne permit pas une progression rapide, si bien qu'à la déclaration de guerre en 1914, le réseau de 3^e ordre n'était pas terminé.

Les acteurs :

A la Commission Centrale du nivellement siégeait entre autres, le Colonel Goulier (1818-1891), un grand bonhomme, un des grands topographes fran-

çais au meilleur sens du terme, inventeur de nombreux instruments de topographie (règle à éclimètre, alidade holométrique, etc...) qui avait perfectionné la tachéométrie, étudié les méthodes de levé, etc. Homme de grand sens pratique et de beaucoup d'expérience, ancien professeur de topographie à l'Ecole d'Application de Metz et à l'Ecole de Fontainebleau, son rôle fut essentiel et Ch. Lallemant put profiter d'avance de sa parfaite connaissance du nivellement géométrique et du réseau de Bourdaloue.

Le nom de Charles Lallemand s'est longtemps identifié à celui du Service du NGF dont il fut l'organisateur et dont il codifia les méthodes dans une série d'instructions et d'ouvrages techniques. De 1884 à 1927, il dirigea l'établissement, constituant le réseau, s'ingéniant à assurer la précision des opérations en dépistant les erreurs systématiques, en imaginant des contrôles numériques, etc... Il mit à la disposition du public les "Répertoires graphiques des repères de nivellement" plus détaillés et plus pratiques que ceux de Bourdaloue. Il fit apporter aux mesures brutes les "corrections orthométriques" qui visaient à uniformiser le système des altitudes, imagina un appareil simple pour relever le niveau moyen de la mer dans les différents ports — le médimarémètre dont il fit installer de nombreux postes.

Son service servit, dit-on, de modèle à de nombreux pays étrangers.

Profitant des résultats des mesures du réseau français et des réseaux étrangers, il mena un certain nombre d'études pratiques ou théoriques sur les erreurs liées au sens de la marche des opérateurs, sur le niveau moyen des mers, les mouvements de l'écorce terrestre, les marées terrestres, etc... Célèbre et célébré, il accéda aux honneurs nationaux et internationaux et s'y complut. Il eut en Eugène Prevot le second dévoué qui, attaché au Service dès sa fondation, en assumait avec efficacité et sans publicité personnelle, le fonctionnement quotidien.

Nivellement d'Afrique du Nord

Il fut confié au Service géographique de l'Armée. Munis d'un matériel très semblable à celui du Service du NGF ses opérateurs élaborèrent à partir de 1887 un réseau de nivellement géométrique de précision, limité aux 1^{er} et 2^e ordres, basé sur le médimarémètre de la Goulette. Dès 1889, ce réseau était étendu au territoire algérien.

Après une interruption de 1896 à 1903, il fut repris activement et c'est à cette occasion que la Capitaine Cholesky mit en œuvre à partir de 1910 la méthode des doubles cheminements parallèles, actuellement universellement utilisée, qui porte encore son nom (41).

Retour sur la notion d'altitude

L'altitude "au-dessus du niveau de la mer" est une expression commode mais dépourvue de sens précis. Suivant que l'on veut attacher à la différence d'altitude la notion de pente (écoulement des eaux) ou la notion de distance verticale (hauteur d'une falaise à pic) on vise deux définitions différentes. Si on considère la surface du niveau origine "le géoïde", prolongée sous les continents, une surface d'égale altitude s'obtiendrait en portant sur la **droite** normale au géoïde une même longueur H , qui définit une surface partout équidistante du géoïde : $H = \text{constante}$, somme des dénivelées : $H = \sum dh$.

Mais une surface d'équilibre des eaux est une surface de niveau, une équipotentielle de la pesanteur, et cette surface est définie par une expres-

sion du type $g_m H = \text{constante}$ où g_m est la pesanteur moyenne sur le segment H , pesanteur qui varie d'un point à un autre ; en d'autres termes les surfaces équipotentielles de la pesanteur ne sont pas parallèles — or c'est dans la surface équipotentielle que le niveau se met en équilibre... Il y a divergence entre les deux définitions.

Heureusement la différence locale n'est pas grande et l'opérateur de terrain peut l'ignorer ; on montre qu'au point de vue scientifique on peut rapprocher les deux définitions en appelant altitude d'un point de nivellement une expression de la forme $H = \sum g_m dh / g_m$ où $\sum g_m dh$ est la différence de potentiel de la pesanteur depuis l'origine jusqu'au repère et g_m une valeur moyenne de la pesanteur sur la verticale ; une telle expression conserve à peu près les propriétés métriques locales et satisfait à l'unicité théorique de la réponse. A l'époque du NGF on ne pouvait pas adopter une telle définition car la mesure de g était une expérience de laboratoire — d'ailleurs incertaine — c'est la raison pour laquelle Lallemand adopta une définition approximative utilisant γ la pesanteur théorique sur l'ellipsoïde au lieu de la pesanteur mesurée, ce qui se traduisait par la correction orthométrique à apporter aux mesures brutes pour uniformiser les résultats.

Convention du mètre — Bureau International des poids et mesures

On a vu plus haut que dès ses débuts, l'Europäische Gradmessung s'était préoccupée d'uniformiser les unités de longueur employées par les différents états adhérents et avait émis le vœu que la toise de Bessel, puis le mètre soient adoptés dans ce but. En 1872, se réunissait à Paris une Commission internationale du mètre dont les délibérations aboutirent à la signature de la convention du mètre (1875) et à la création du Bureau International des Poids et Mesures, laboratoire international domicilié au Pavillon de Breteuil (à Sèvres), chargé de déterminer et conserver les étalons de longueur et de masse, d'en fournir des copies fidèles aux états contractants, de définir et mettre en œuvre les méthodes métrologiques les plus sûres pour matérialiser les unités utilisées par les physiciens, procéder à des comparaisons d'unités, à des étalonnages certifiés parmi lesquels celui des règles géodésiques pour les mesures de bases.

Le métal Invar

C'est au BIPM que Benoît (Directeur de 1889 à 1915) et son adjoint Guillaume découvrirent et expérimentèrent les propriétés du métal Invar. Ils étudièrent les aciers au nickel, dans le but de créer des copies du mètre étalon beaucoup moins onéreuses que les copies en platine irridié adressées initialement aux états signataires.

Ils remarquèrent qu'un acier à 36 % de nickel avait un coefficient de dilatation extrêmement faible, inférieur à 10^{-6} par degré (platine : 8.87×10^{-6} ; fer : 11.70×10^{-6} ; nickel 12.5×10^{-6}) et signalèrent son intérêt pour la mesure des bases géodésiques (1896). On pouvait donc s'affranchir

des mesures toujours aléatoires de température et construire des règles pratiquement stables, accessibles à prix modéré, concevoir des mires de nivellement parfaites. Pour la mesure des bases le procédé fut combiné avec la méthode Jäderin : le géodésien suédois avait eut l'idée d'utiliser comme étalon de longueur, de longs fils en acier (24 m) de faible diamètre (1,65 mm) suspendus sous tension de 10 kg et avait montré que la corde, moyennant un certain nombre de corrections systématiques reprenait fidèlement la même longueur, entre ses repères extrêmes : c'était précisément le coefficient de dilatation de l'acier qui refusait à ce matériel la précision géodésique.

Cette nouvelle méthode allégeait considérablement la mesure des bases, elle divisait par un facteur 4 ou 5 la durée de la mesure, le matériel était facilement transportable, le personnel réduit des 3/4.

Elle fut employée par les géodésiens du monde entier, jusqu'à l'apparition des procédés électromagnétiques, 60 ans plus tard.

Astronomie géodésique — Navigation

La détermination des coordonnées astronomiques des stations géodésiques avait depuis Picard subit d'importants perfectionnements. Le tableau ci-dessous rappelle les étapes de cette évolution :

Opérateurs	Instrument	Latitude	Longitude
Picard Cassini I et II	Secteur d'environ 15° d'amplitude	Différences méridiennes de dist. zénithales ± 10"	Satellites de Jupiter ± 10 s
Maupertuis et Bouguer	d°	d°	d°
La Caille Cassini III	Secteur de grande amplitude	Observations méridiennes de latitude ± (3" à 5")	Signaux de feu ± 1 s
Delambre Ing. Géographes	Cercle répétiteur	Observations méridiennes ± (1" à 3")	d°
Villaceau Perrier	Cercle méridien	Observations méridiennes ± 0"5	Télégraphie observations méridiennes ± 0.05 s
L'évaluation des précisions est grossière. 1 s (temps) = 15" cos L (L latitude locale)			

Pour l'astronomie de campagne, le matériel de Villarceau était lourd et peu transportable, il exigeait des stations installées de manière durable occupées pendant plusieurs mois.

Un pas décisif fut accompli en 1901 par Claude et Driencourt.

Astrolabe à prisme

La méthode nommée méthode des droites de

hauteur permet de connaître la latitude et la longitude d'une station disposant d'un bon chronomètre réglé par exemple sur le temps sidéral du méridien origine HSo — c'est le cas de la navigation.

Elle se base sur la remarque suivante : en une station donnée, à une heure sidérale locale HS, la distance zénithale d'une étoile connue n'est fonction que des coordonnées équatoriales (AR,D) de cette étoile, de la latitude de la station et de l'angle horaire (AH), de l'astre. Ce dernier est lié à l'heure sidérale locale par la relation $HS = AR + AH$, en d'autres termes. La trigonométrie sphérique permet d'exprimer une relation de la forme : (fig. 52).

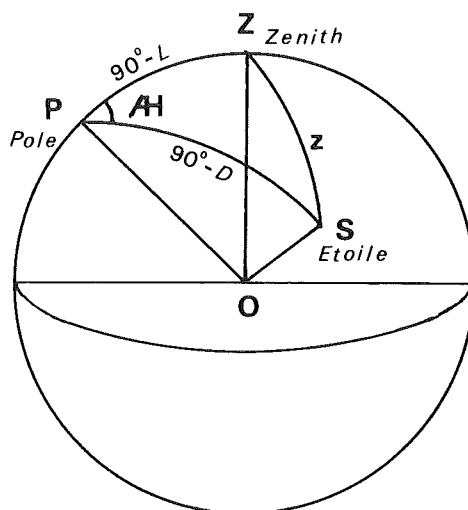


fig. 52

On connaît : z distance zénithale observée.

On lit sur le chronomètre l'instant de l'observation H_s .

AR, D, sont définis par les catalogues d'étoiles, on a donc une relation entre L latitude et HS heure sidérale locale (liée à la longitude $M - M_0$ et à l'heure HSo lue sur le chronomètre par la relation $HS = HSo + (M - M_0)$).

L'observation d'une autre étoile connue donne donc une deuxième équation :

$\cos z' = \sin L \sin D' + \cos L \cos D' \cos (H_s' + (M - M_0) - AR)$ à l'heure H_s' repéré sur le chronomètre. On a donc 2 inconnues L, $(M - M_0)$ liées par 2 équations que l'on peut résoudre. Bien entendu on multiplie les observations et on traite l'ensemble pour en tirer les inconnues.

Gauss avait montré que l'observation à distance zénithale constante avait de grands avantages : c'est cette idée que Claude et Driencourt ont mise en œuvre dans l'astrolabe à prisme.

Le schéma du principe de l'appareil est le suivant : un prisme équilatéral est disposé devant une lunette horizontale ; la face arrière du prisme est verticale et perpendiculaire à l'axe optique de la lunette. Un bain de mercure est disposé sous le prisme et l'observateur distingue donc deux images de l'étoile cheminant en sens inverse dans la lunette, à la distance zénithale de 30 degrés (fig. 53).

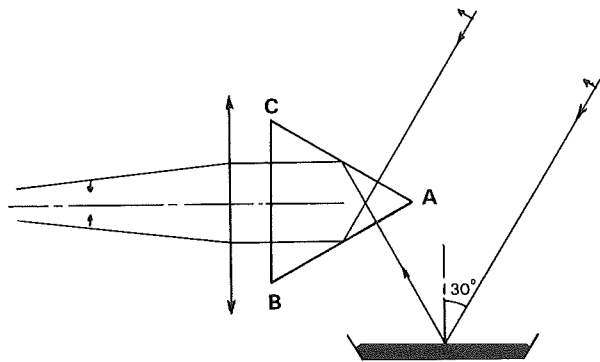


Fig. 53

Si l'arête A est horizontale, ces deux images sont sur une même verticale et on pointe l'instant de la coïncidence sur le chronomètre. L'appareil est simple et portable. On peut multiplier les étoiles donc faire de nombreuses observations surabondantes. C'est par excellence un instrument de campagne, il ne peut donner l'azimut.

Signaux horaires radiotélégraphiques

Le 23 mai 1910, le Ministre de la Marine informait l'Académie des Sciences que conformément à ses souhaits et à ceux qu'avait exprimés le Bureau des Longitudes, le Ministre de la Guerre venait sur sa demande de charger le Capitaine Ferrié d'organiser à la Tour Eiffel un service de signaux horaires transmis par radiotélégraphie. C'était l'aboutissement de toute une suite de recherches entreprises par ce dernier. Il avait été chargé par le ministre de la Guerre à la suite des premiers succès de Marconi d'étudier les applications militaires de la télégraphie sans fil, avait monté avec des moyens de fortune un petit laboratoire et peu à peu mis au point, en liaison avec Blondel, un des grands ingénieurs électriciens du début du XX^e siècle, les antennes, les détecteurs, les appareils d'émission et de réception de signaux Morse. Les expériences et leurs résultats finirent par s'imposer, malgré le scepticisme des techniciens militaires de la télégraphie par fil ou par optique, et finalement il put s'installer un laboratoire au Champ de Mars, au pied de la Tour Eiffel qui lui permettait de tendre son antenne.

L'émission de signaux horaires n'était pas une nouveauté absolue : dès 1905 la marine des Etats-Unis avait mis au point une émission de signaux destinés à la navigation à proximité de ses côtes. Leur précision était de l'ordre de la seconde, leur portée de 2 ou 300 kilomètres.

En 1906, les Allemands avaient poursuivi des expériences de synchronisation d'horloges distantes de quelques centaines de kilomètres.

En inaugurant le 23 mai 1910 une émission régulière, strictement codifiée de signaux horaires de portée quasi-mondiale, Ferrié mettait à la disposition du public et en particulier de la navigation et de la géodésie un moyen d'une extraordinaire puissance et d'une grande simplicité, dont on connaît le développement ultérieur.

Les signaux horaires émis étaient pilotés par les

horloges fondamentales de l'Observatoire de Paris ; leur précision atteignait ± 0.01 seconde. Ces signaux émis à des instants très précis, étaient rythmés : l'intervalle entre deux tops successifs différait très peu d'une seconde de temps, ce qui permettait de synchroniser l'horloge locale à l'horloge émettrice par "vernier acoustique", selon l'idée de Claude et Driencourt qui avaient mis la méthode au point en 1906 entre Paris et Brest.

Comme première application, Ferrié et ses adjoints reprirent la mesure des différences de longitude Paris-Alger, Paris-Bizerte, et en 1913-1914 en accord avec leurs collègues des Etats-Unis la différence de longitude, déjà connue par câble, entre Paris et Washington, entre les émetteurs (et récepteurs) de la Tour Eiffel et d'Arlington.

Elle fut trouvée égale à 5 h 17 mn 36 s, 653 ± 0.003 soit 0 s 10 de moins que celle qui avait été déterminée par câble sous-marin.

Pour la géodésie, la voie de la mesure des déviations de verticale en longitude était donc grande ouverte désormais, mais d'autres tâches allaient accaparer pendant cinq ans l'activité de Ferrié et celle des géodésiens du SGA.

Géodésie de Guerre

Adoption de la Projection de Lambert

La première guerre mondiale, déclarée le 2 août 1914, commença par une invasion de la Belgique, du Nord de la France en un gigantesque mouvement tournant des armées allemandes admettant la région de Metz pour pivot. Ce mouvement amenait au début de septembre 1914 l'extrême droite des armées allemandes dans la région de Meaux, la ligne du front principale joignant en gros Meaux à Metz, et contournait les Vosges. La victoire de la Marne fit refluer l'envahisseur et à la guerre de mouvement succéda la guerre de position.

L'artillerie qui pendant la première phase tirait à vue, fut alors amenée à tirer sur objectifs invisibles, définis sur la carte, par renseignement indirect ; les éléments de tir étaient donc déterminés par la position sur la carte des pièces et de l'objectif, par conséquent par leurs coordonnées. Le cas n'était pas totalement nouveau : une instruction de 1903 imposait leur emploi aux places fortes (Maubeuge, Verdun, Toul, Epinal, Belfort) dans la zone accessible, couverte en général par un plan directeur au 1/20 000 levé dans un système local.

Les cartes au 1/80 000 dite de l'Etat-Major, en projection de Bonne, ou son amplification au 1/50 000 était le seul document général disponible, utilisable par tous.

Créés vers la fin de l'année 1914, les groupes de Canevas de tir d'Armée — un par armée — furent chargés de la préparation topo-géodésique nécessaire aux artilleurs, et en particulier de la fourniture des listes de coordonnées et des cartes quadrillées, permettant de piquer les positions topographiques.

Ils étaient placés sous le commandement de l'Armée, mais restaient en liaison étroite avec le Service Géographique de l'Armée, pour toutes les questions relevant de la technique exigeant des

solutions générales, pour la fourniture des cartes ou de leurs éléments de reproduction, etc. Ils durent faire face à une situation quasi-inextricable engendrée par la prolifération — inévitable — des systèmes locaux de coordonnées. Le Général Directeur du SGA (Général Bourgeois) se faisait l'écho de ces difficultés, qui d'ailleurs engendraient de grosses complications pour le report des quadrillages sur les cartes, et par note du 10 avril 1915 demandait aux groupes de canevas de tir leur avis sur le choix d'une projection unique à adopter sur l'ensemble du front.

Nous donnons ci-après, presque in extenso, la réponse du groupe de Canevas de Tir de la 1^{re} Armée, qui expose les problèmes, les solutions provisoires, leurs inconvénients, pour conclure à l'adoption de la projection Lambert (16 avril 1915) :

— "Le Chef de Bataillon de Lavalette-Cortlosquet Chef du Groupe des Canevas de Tir de la 1^{re} Armée à Monsieur le Général Directeur du Service Géographique Paris.

"En réponse à votre Note n° 7913 g. du 10 avril, j'ai l'honneur de vous adresser un rapport relatif à mon avis sur la question d'un système de projection unique et sur celle du quadrillage des cartes, questions qui ont été étudiées d'une façon toute spéciale par les Capitaines Roussilhe et Laborde.

Principes

L'organisation du Tir, dans l'attaque ou la défense des Places, est basée sur l'emploi des coordonnées rectilignes par rapport à 2 axes rectangulaires, de tous les points constituant le canevas directeur du tir : positions des batteries et des objectifs, buts auxiliaires, repères de tir, observatoires terrestres et aériens.

D'après les instructions en vigueur, chaque place a adopté un système particulier ; l'origine des coordonnées, le méridien origine et les formules de calcul changeant donc avec chacune d'elles. Il en résulte que lorsqu'on veut donner à une batterie, située dans la région commune à deux camps retranchés contigus (par exemple Toul et Verdun) le moyen de préparer les éléments initiaux du tir dans l'un ou l'autre système, on doit donner à cette batterie les formules de transformation d'un système dans l'autre, ou tout au moins, des plans directeurs quadrillés dans les 2 systèmes.

Application à la guerre de position

Lorsque l'on a été conduit, dès le début de la guerre de position, à généraliser cette organisation sur tout le front des armées actuelles, différents procédés ont été adoptés suivant les circonstances. D'une façon générale, et afin de parer au plus pressé, le Groupe des Canevas de Tir de chaque armée a adopté le système de représentation rectangulaire déjà existant dans la région : coordonnées des plans directeurs des places, coordonnées de Bonne de la Carte de France, coordonnées de Bonne de la Carte Belge.

Projection de Bonne

Mais immédiatement, une première observation a été faite : l'emploi des coordonnées rectangulaires, lorsqu'on s'éloigne du méridien origine, conduit à des déformations angulaires incompatibles avec les opérations géodésiques ou topographiques, et, dans certains cas, incompatibles avec la précision même du tir. Par exemple, dans le cas de la projection de Bonne, la déformation angulaire de la carte atteint 3 décigrades, à la longitude de 5 grades par rapport au méridien origine.

Pour réduire à des proportions acceptables la valeur des déformations, et conserver dans tous les cas le bénéfice de la simplicité du mode de représentation adopté, le Groupe des Canevas de Tir de la 2^e Armée a proposé au Général Directeur l'emploi d'une série de projections de Bonne, décalées de 2 grades en 2 grades (système des fuseaux). Ce système est employé actuellement pour toute la région du front qui s'étend de la Meuse à la Haute-Alsace. L'adoption des coordonnées par fuseau de 2 grades laissait subsister 2 difficultés :

1) double quadrillage nécessaire à la jonction de 2 fuseaux voisins ;

2) complication dans le quadrillage industriel des cartes destinés à l'Artillerie et à l'Aviation.

Aussi a-t-on cherché à unifier les divers systèmes employés et à préparer, au moins pour l'avenir, des listes de coordonnées dans un système unique, et des cartes quadrillées de reproduction très simple dans le même système.

Le système adopté en principe, mais non encore appliqué, correspond aux coordonnées de Bonne (méridien origine 0 grade) qui définissent les coupures des cartes. Celles-ci sont donc quadrillées parallèlement aux bords des cadres.

Les organisations existantes ont bien entendu été conservées pour le moment : elles comprennent d'ailleurs tous les types possibles, chaque Groupe des canevas de tir appliquant en somme l'esprit de l'Instruction de 1903, ayant choisi une origine locale et adopté un système spécial de coordonnées :

Coordonnées de Bonne origine 0, 2, 4 et 6 grades.
Coordonnées de Bonne origine Bruxelles (Belgique).
Système des plans directeurs (Verdun et 3^e année)
Projection analogue à origine centrale (région de Reims).

La solution générale adoptée par le Général Directeur, et pour l'application de laquelle le SG a quadrillé en noir les feuilles au 50 000^e de la carte de France, unifie les organisations existantes. Elle convient d'ailleurs à l'ensemble du front actuel, au moins pour les armées qui se servent des amplifications de la Carte de France au 80 000^e. Elle évite enfin, pour la presque totalité de ce front, l'emploi des doubles quadrillages et des formules de transformation qu'on est amené à établir dans la région commune à 2 armées voisines, et surtout lorsqu'une unité change d'armée.

Passage des systèmes existants à la projection de Bonne

Toutefois, pour rendre cette solution rapidement applicable, il convient encore de donner aux diverses armées le moyen de transformer immédiatement les coordonnées rectangulaires du système actuel, quel qu'il soit, dans le système Bonne origine O G.

Le Groupe des Canevas de Tir s'est trouvé précisément dans l'obligation de résoudre ces divers problèmes. Il en a donné la solution dans des notes et tables qui définissent le passage du 3^e Fuseau au 4^e (7^e armée) et au système des plans directeurs des Places (Toul et Verdun).

Critique de la projection de Bonne

Mais cette solution générale ne peut pas être considérée comme entièrement satisfaisante. D'une part, elle ne supprime pas les imperfections de la représentation de Bonne, et oblige le Groupe des Canevas de Tir à établir les planchettes dans un système local plus ou moins compliqué (propositions de la 5^e et de la 3^e Armées). D'autre part, elle ne supprime que pour la zone française des opérations les difficultés de reproduction du quadrillage et son obliquité par rapport aux coupures ; les cartes allemandes, et les cartes au 20 000^e dites "plans directeurs" elles-mêmes, sont coupées en parallèles et méridiens, et les parallèles aux axes de coordonnées mettront toujours en évidence la convergence des méridiens.

L'expérience a d'ailleurs prouvé que le tracé et le tirage sur repère des quadrillages obliques ne présente aucune difficulté vraiment sérieuse.

Mais une objection beaucoup plus importante conduit à elle seule à abandonner définitivement cette première solution : l'emploi de la projection de Bonne ne pourra être que provisoire, tant par suite des déformations angulaires excessives qu'en raison de l'utilisation des cartes allemandes.

Si les armées transforment toute l'organisation actuelle du tir, et distribuent les cartes quadrillées dans le système général adopté, ce premier changement dans le langage auquel l'Artillerie s'est maintenant habituée, sera donc suivi d'un second changement pour la guerre de position ou même de mouvement en Alsace-Lorraine, en Prusse Rhénane ou à l'Est du Rhin. Des protestations justifiées ne manqueront pas de se produire, et, ce qui est plus grave, on peut craindre des erreurs dans le mode de désignation des objectifs. Outre la difficulté de préparer les 2 changements de système de cartes, on court le risque, par des perturbations aussi fréquentes, d'inciter l'Artillerie à abandonner le principe des coordonnées rectangulaires, ce qui serait aller à l'encontre du but.

L'expérience a montré, (et le simple raisonnement le faisait prévoir) combien il est difficile de faire changer de système aux formations sortant d'une Place forte mais ne s'en éloignant pas ou à un corps passant dans une nouvelle armée, bien que ne changeant pas de position.

Problème général

Dans ces conditions, ne paraît-il pas préférable à tous égards d'adopter dès maintenant un système général qui se prête à toute la suite des opérations, et de fixer la limite ou la date à partir desquelles la nouvelle organisation sera mise en vigueur ?

La première difficulté à résoudre consiste à choisir un système qui se prête — comme celui de la projection de Bonne pour la France — à la transformation simple des coordonnées rectangulaires actuelles. Mais cette difficulté disparaît si, justement pour toutes les raisons de continuité déjà invoquées, on conserve provisoirement le système local adopté pour les positions actuelles : (seules les armées de l'Ouest ont d'ailleurs calculé des points géodésiques nouveaux). Il suffit d'indiquer dès maintenant à partir de quelle date, ou de quelle limite géographique, on mettra le système général en vigueur.

On est ainsi conduit, en réalité, à traiter la question d'ensemble comme on y aurait été conduit en temps de paix, par l'examen des organisations de siège et place.

Le groupe de la 3^e Armée, consulté, a proposé l'adoption d'un développement conique qui conduit à des calculs aussi longs que dans les autres projections si l'on veut avoir la même précision ; de plus, ce développement ne supprime qu'imparfaitement les déformations angulaires, seules importantes dans cette question.

Dans la note jointe à ce rapport, et qui a été communiqué au Colonel Lallemand, nous préconisons l'adoption de la projection conforme dite de Lambert, avec l'origine 55 G. — 6 grades Est.

Elle peut s'étendre indéfiniment vers l'Est. Le Groupe a préparé les tables de calcul nécessaire :

A) Tables pour le calcul direct des coordonnées rectangulaires (latitudes exprimées en grades ou en degrés) (jointes au rapport).

B) Table des coordonnées rectangulaires des intersections de parallèles et méridiens, de déci-grade en déci-grade pour les cartes françaises (entre 3 et 6 G).

etc... Suivait la théorie de la projection Lambert.

Les autres canevas de tir concluaient pour la plupart dans le même sens, proposaient des projections coniques parfois différentes mais très voisines de la projection Lambert (proposition Saspertes, Lallemand, etc.).

Par note du 27 avril, G. Perrier commandant le groupe de canevas de tir de la 7^e Armée, géodésien déjà célèbre du SGA auquel on avait communiqué le rapport de Laborde et Roussilhe recommandait son adoption et concluait :

Conclusion

Ordre rationnel des opérations

1) Etude approfondie de tous les documents géodésiques et cartographiques allemands ayant comme conclusion la fixation :

a) de l'ellipsoïde le plus approprié aux calculs à faire ;

b) des corrections à apporter aux coordonnées géographiques françaises pour avoir les coordonnées géographiques allemandes (ou belges).

2) Fixation des cartes qui serviront à l'artillerie dans le mouvement en avant, cartes allemandes, belges, etc... pour que le Service Géographique les tire carroyées et tire seulement celles-là, afin d'éviter la diversité des demandes et le foisonnement des tirages.

3) Rédaction d'une notice sur le système de Lambert accompagnée de deux séries de tables :

— tables pour le calcul des coordonnées rectangulaires en fonction des coordonnées géographiques ;

— tables donnant les coordonnées rectangulaires des points de coordonnées géographiques ronds (arguments centésimaux dans la zone française, sexagésimaux dans la zone allemande).

4) Fixation par chaque chef de groupe de la ligne au-delà de laquelle le système de Lambert devra être, quoiqu'il arrive, appliqué exclusivement.

5) Calcul des coordonnées rectangulaires des points géodésiques et tirage de cartes carroyées dans le système Lambert par le Service Géographique au-delà de cette ligne, sur les demandes des chefs de groupe.

6) Pour chaque groupe, calcul des coordonnées rectangulaires des points géodésiques et préparation de cartes carroyées, à la fois dans le système actuellement usité et dans le système de Lambert (travail exécuté au Service Géographique ou, à défaut, au groupe).

La date de la mise en pratique du nouveau système général dans chaque armée serait laissée à l'initiative du chef de Groupe. Lorsque son armée aurait franchi la ligne fixée, celui-ci rendrait compte

que le nouveau système a été introduit et se trouve désormais seul en vigueur.

Le Chef d'Escadron
Chef du Groupe des canevas de tir de la 7^e Armée
signé G. Perrier

Par décision du 18 juin 1915, le Général directeur du Service Géographique de l'Armée adoptait le système de projection Lambert Nord de Guerre dont les caractéristiques étaient les suivantes :

méridien origine : 6,0 grades Est de Paris

parallèle origine : 55 grades

extension de latitude : 52 g 50 — 57 g 50

limite ouest d'application des tables, méridien de Paris

ellipsoïde de Plessis : coordonnées de la triangulation des Ingénieurs géographes, dite ancienne triangulation.

On avait également calculé une projection dite Sud de Guerre, dans la région de Belfort-Montbéliard en raccord avec le quadrillage suisse elle ne servit jamais.

Telle fut la genèse de l'adoption des projections Lambert en France ; la clairvoyance des Courtier, Laborde, Roussilhe, Perrier, Driencourt... avait proposé une solution moderne qui fut adoptée ultérieurement pour les travaux des temps de paix et qui serait aujourd'hui irremplaçable.

En 1920, le Service Géographique de l'Armée décidait d'adopter désormais pour calculer les projections du nouveau système cartographique français (carte au 1/50 000 type 1922) les trois systèmes de projection que nous connaissons :

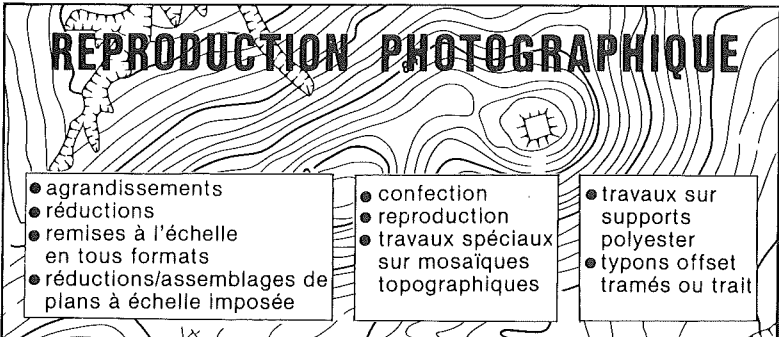
Lambert 1 — parallèle origine 55 grades

Lambert 2 — parallèle origine 52 grades

Lambert 3 — parallèle origine 49 grades

avec zone de recouvrement de 1 grade.

Mais le Lambert Nord de Guerre avait la vie dure. Nous le retrouverons bientôt.



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




PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) **43.47.15.92**

Un succès pour une heureuse initiative de l'AFT



L'AFT a organisé le 29 octobre 1986 à Cachan une "rencontre" sur le thème :

UTILISATION DES SATELLITES EN CARTOGRAPHIE ET TOPOGRAPHIE "AUJOURD'HUI ET DEMAIN"

comportant les conférences suivantes :

- **M. le Gorgeu, Spot Image** : Spot I — Etat actuel, premiers résultats — présentation des images.
- **M. Boucher et M. Willis, IGN** : Le système GPS et son impact en géodésie, topométrie et cartographie. GPS, (Global Positioning Systems), aussi appelé Navstar/GPS (Navigation System by Timing and Ranging), est un système mondial de positionnement par satellites.
- **M. G. Bonin, Sercel** : Utilisation du système GPS pour la détermination des coordonnées précises d'un point.
- **M. Gaubert Wild + Leitz** : Différentes utilisations non topographiques du système GPS.
- Et une exposition de matériel moderne complétée

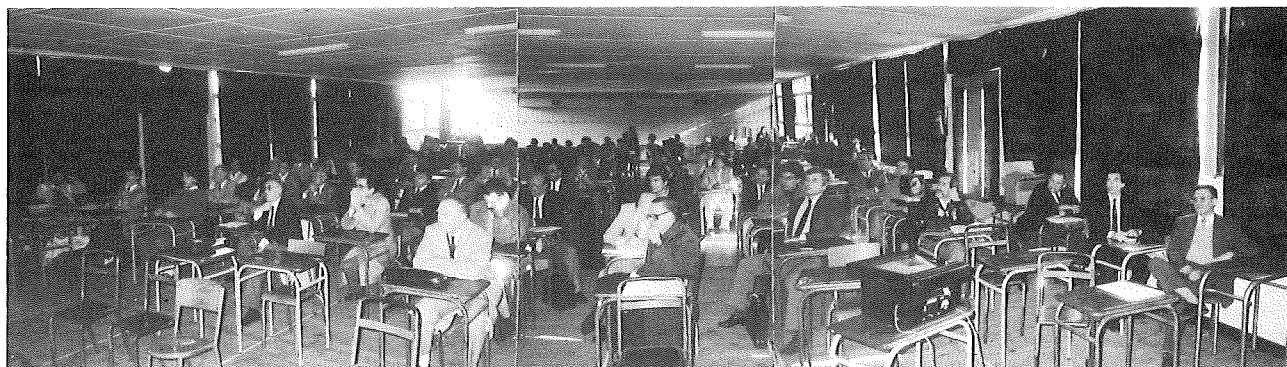
par des démonstrations sur le polygone de l'ESTP.

Les organisateurs ont accueilli 180 participants. Pour certains ce fut aussi l'occasion de visiter le laboratoire d'appareils de topographie et la salle de cartographie géologique et photogrammétrique, sous la direction de M. Challine qui n'a pas ménagé ses explications.

Les raisons de ce succès sont :

- le dynamisme de ses animateurs et le travail en équipe ;
- le choix du thème, judicieusement lié aux grands axes de l'actualité ;
- la qualité des participants et des conférenciers ;
- le nombre important de sociétés qui souhaitent apporter leur concours à cette initiative (présentation de matériel, etc...).

Souhaitons un succès tout aussi spectaculaire à la prochaine rencontre de l'AFT et regardons le reportage photographique de cette manifestation qui vous en dira plus qu'un long discours sur l'ambiance de cette journée.



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

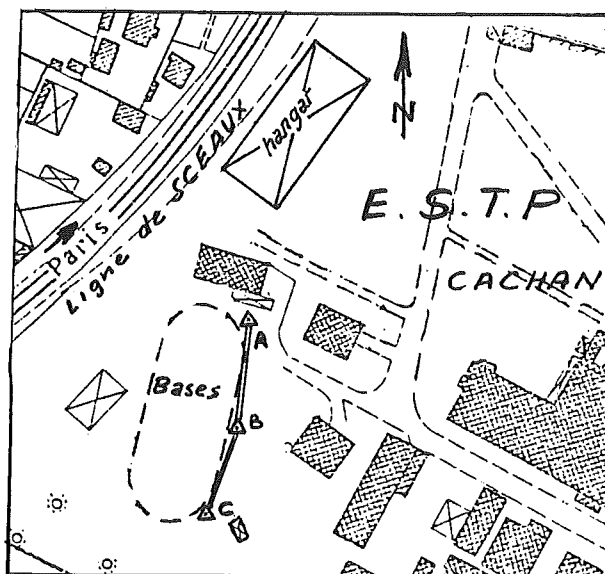
Profitant de la "Rencontre AFT" de Cachan, à l'école spéciale des travaux publics le 29 octobre 1986, et du temps splendide qui a agrémenté cette journée, une équipe d'anciens de la Société Française de Stéréotopographie, tous membres de l'AFT à l'exception d'un seul, s'est adonnée aux joies de la mesure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

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

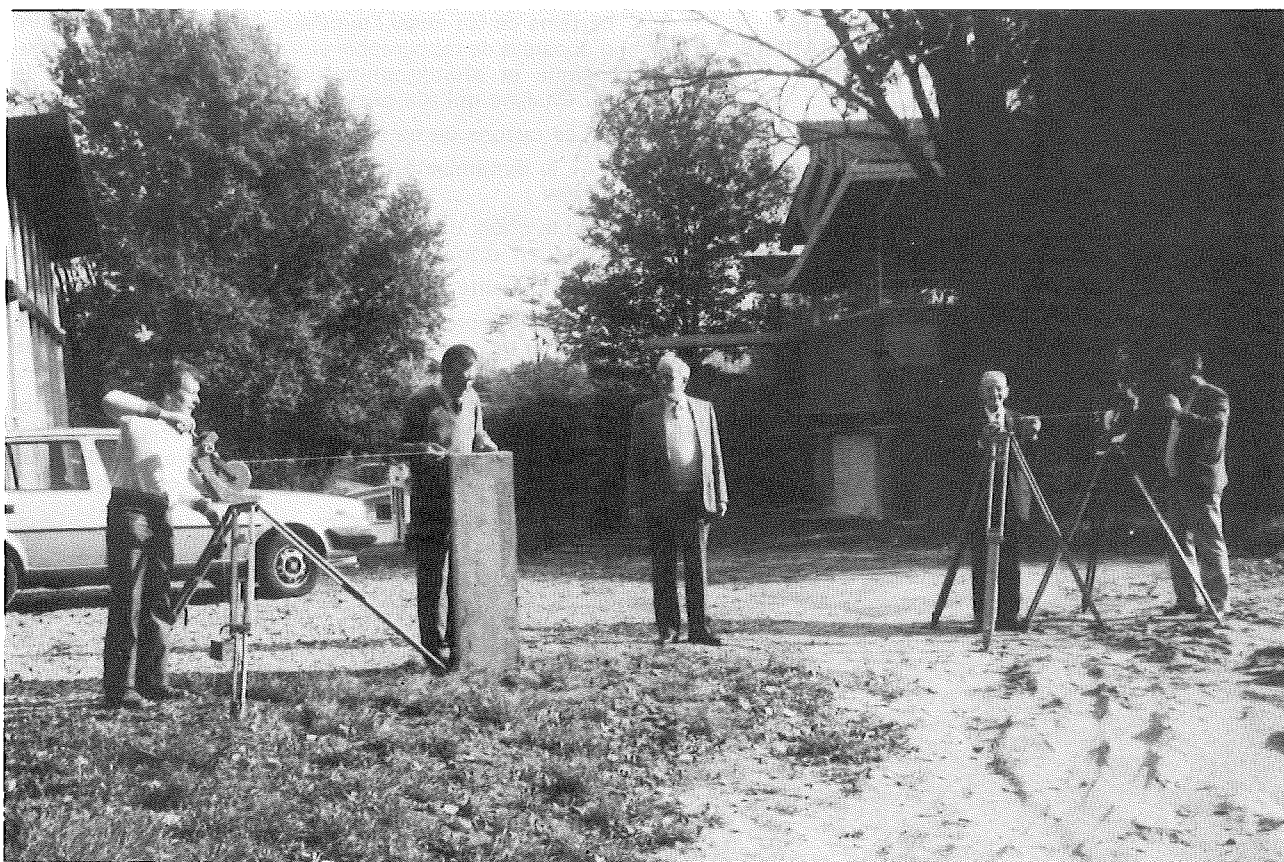
La précision a été excellente puisque les résultats suivants ont été arrondis aux dixième de millimètre !

Base AB = 33 m 9825

Base BC = 27 m 4670



Plan établi par le Cabinet Delbard en 1972.



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

Spot

par J.-P. LE GORGEU, SPOT IMAGE

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

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

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

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

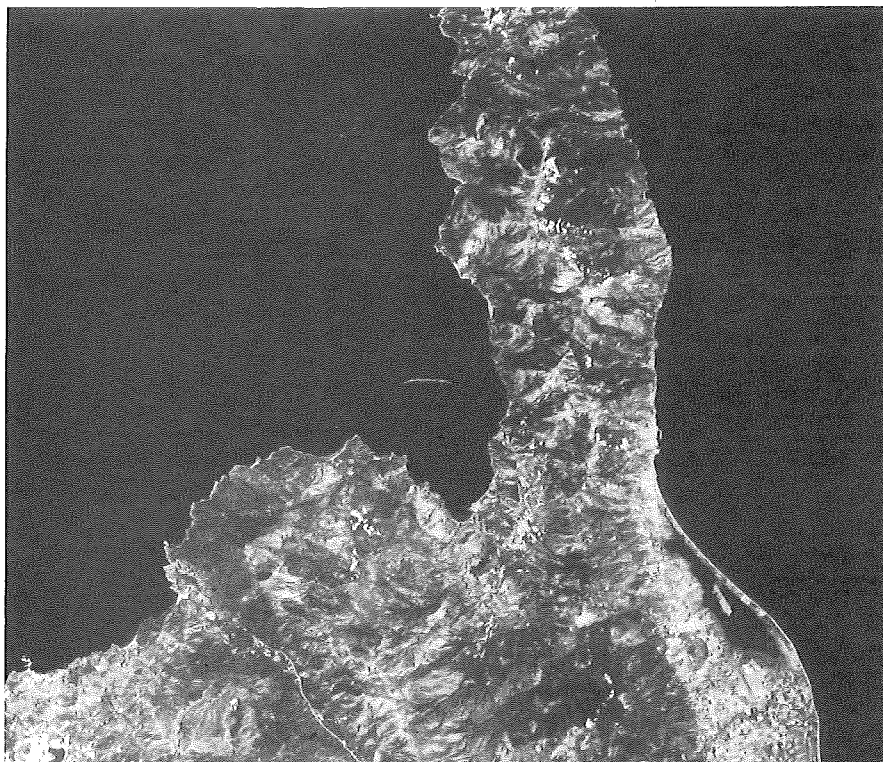
à 0,2 pixels près au lieu des 0,3 pixels de la spécification initiale.

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

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

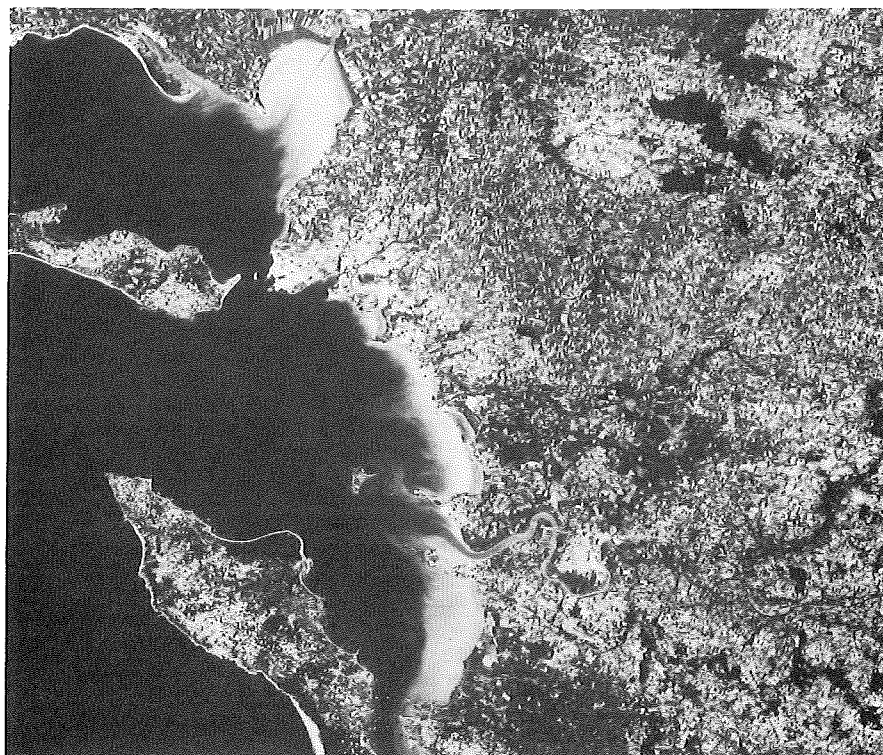
Après la recette en vol commençait l'utilisation de toutes les possibilités du satellite. Les images étaient transmises aux deux stations principales de Toulouse et de Kiruna (Suède) au rythme de 1 400 images par jour. A partir du 16 juillet entraient en service les stations canadiennes de Prince Albert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

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



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

La Rochelle : scène 035-257, image du 27 juin 1986. Mode Panchromatique, Niveau de Prétraitement 1B. Scène entière. Echelle 1/200°. Baie de l'Aiguillon - Ile de Ré - La Rochelle - La Charente - Ile d'Oléron. (Copyright CNES, 1986, Distributeur SPOT IMAGE).



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

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

SPOT IMAGE distribue les images SPOT à travers le

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

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

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



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

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

par C. BOUCHER et P. WILLIS, IGN France

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

1. Historique et description du système GPS

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

1.1 Le segment spatial

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

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

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

1.2 Le segment de contrôle

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

1.3 Le segment utilisateur

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

2. Les mesures GPS

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

2.1 Les pseudo-distances

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

2.2 Les phases

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

2.3 Les récepteurs

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

Figure 1 — Technique du traitement

figure 1

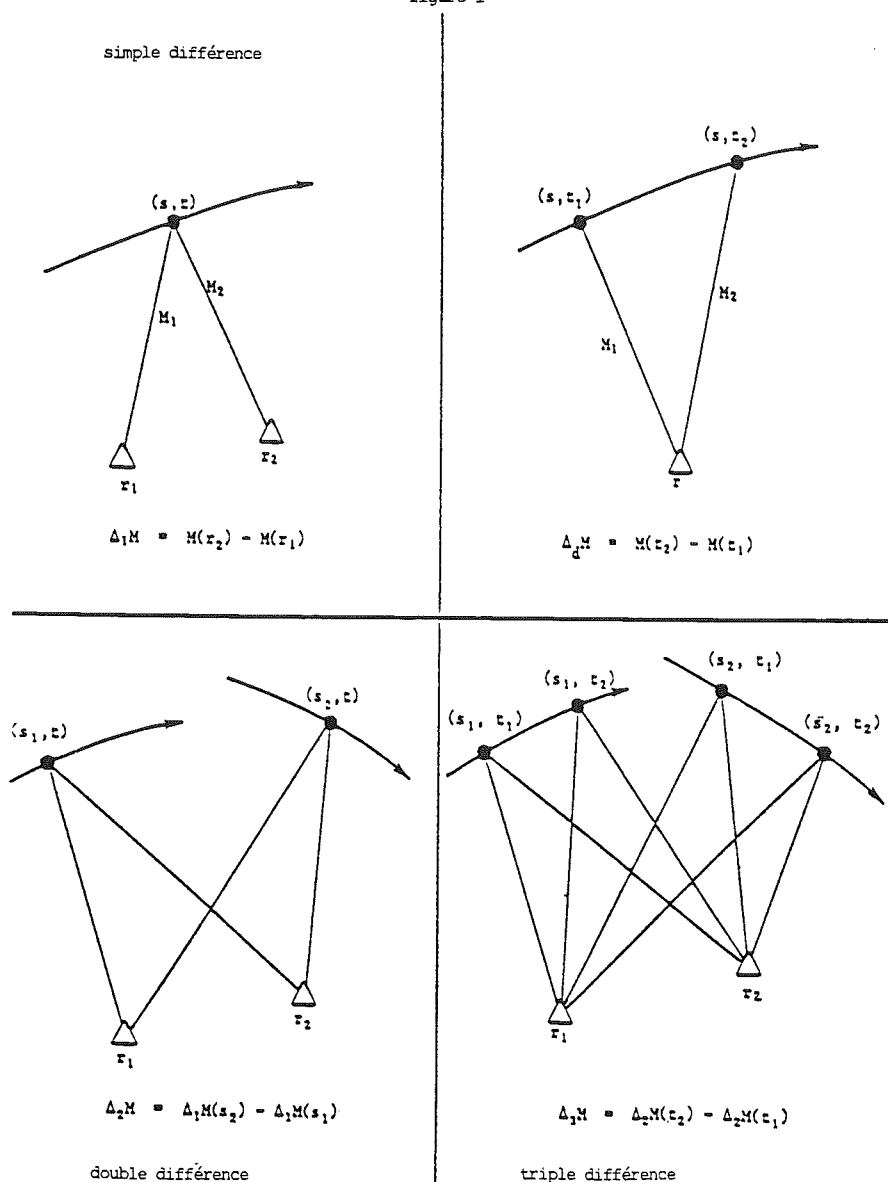


Table 1 — UTILISATIONS ET PERFORMANCES DU GPS

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

3. Utilisations et performances

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

3.1 Point isolé

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

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

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

3.2 Solution navigation différentielle

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

GPS EVALUATION CIBLE

3D + T moving user

4°18'45.682°N 2°14'8.185°H 181,09 m

Racorded at : St NAZAIRE

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

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

SVa : 8 8 9 11 12

Nombre points : 1848

Valeur moy x : .9

Ecart type x : 1.4

Valeur moy y : 4.1

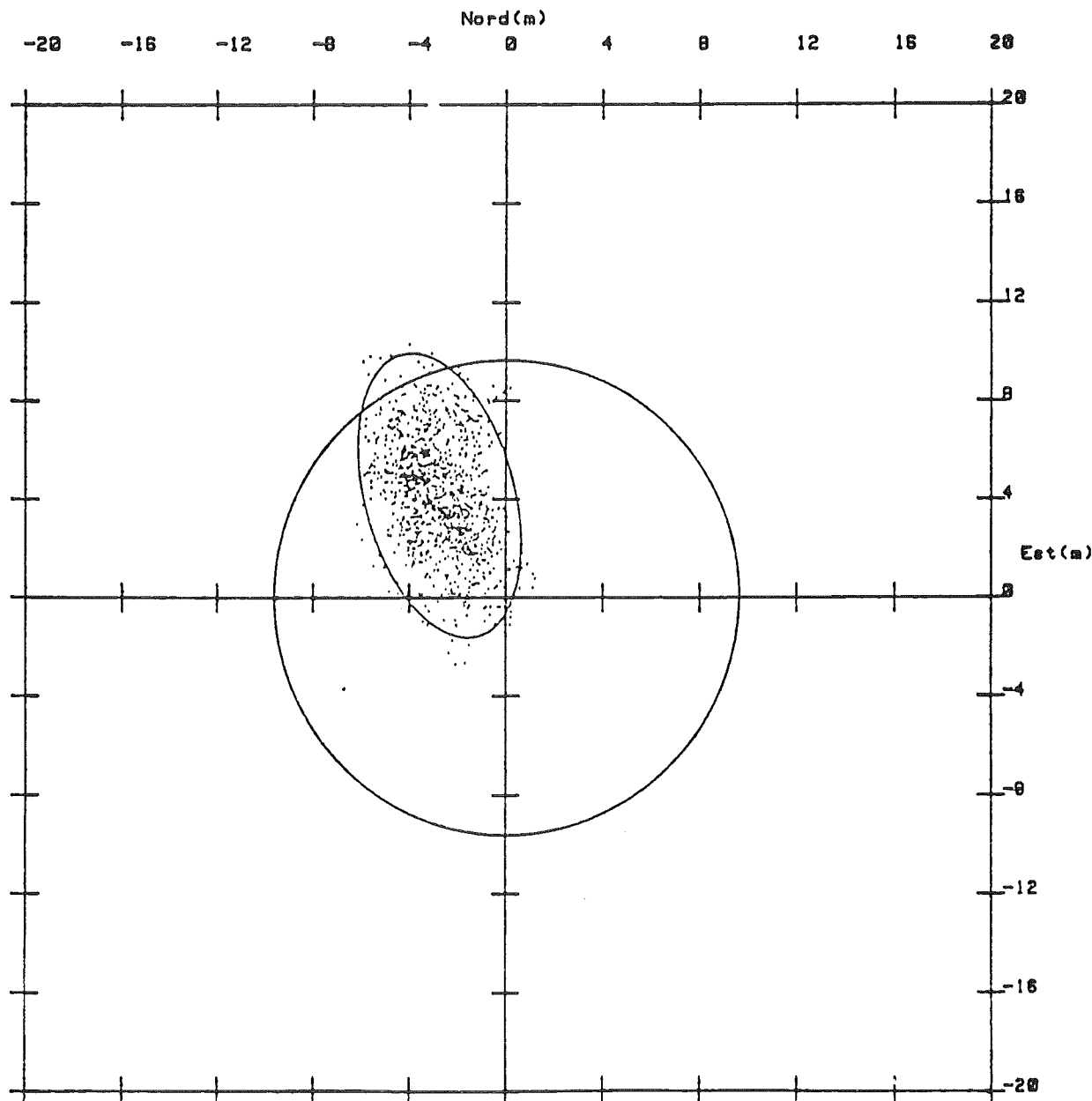
Ecart type y : 2.4

Valeur moy z : - 11.5

Ecart type z : 2.3

R 95 % : 9.6

Figure 2 — Station de Saint-Nazaire



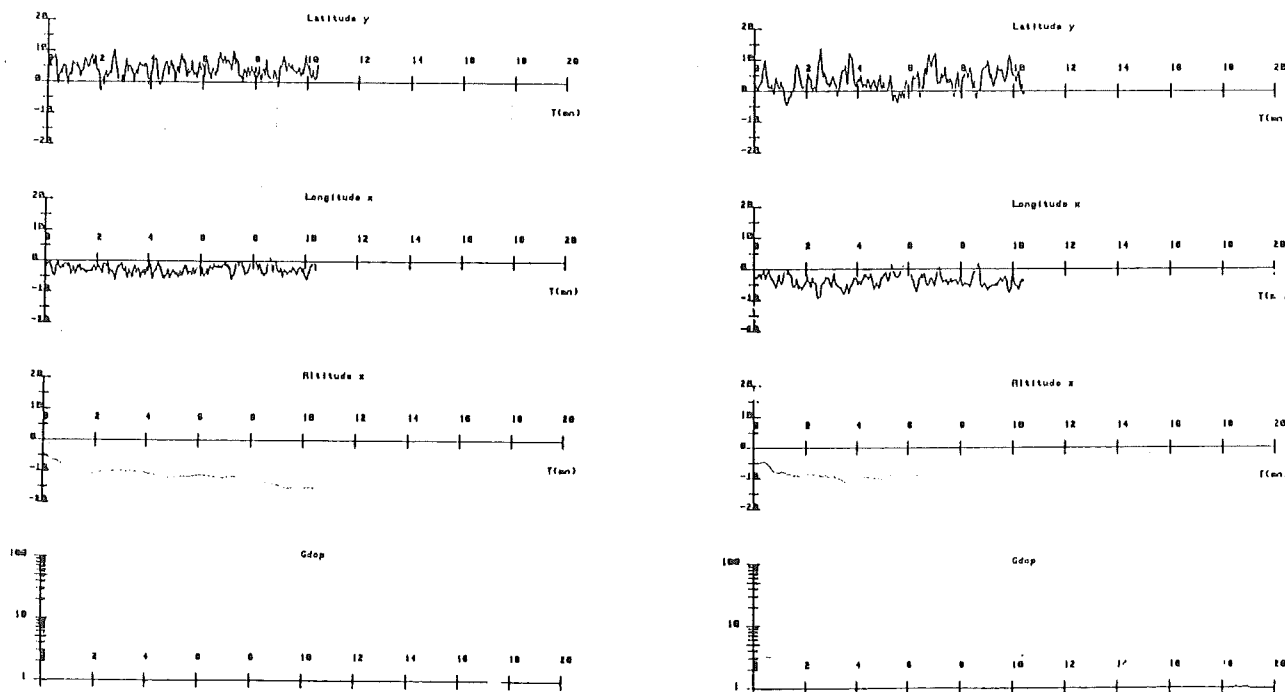
1) Point St-Nazaire

- Longitude — 2° 14 mn 8 s, 165
- Latitude 47° 16 mn 45 s, 602
- Altitude 100,10 m

2) Point de Campbon

- Longitude — 1° 59 mn 49 s, 233
- Latitude 47° 23 mn 57 s, 973
- Altitude 127,67 m

Figure 3



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

3.3 Géodésie

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

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

3.4 Transfert de temps

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

4. Statut actuel et projets à l'IGN

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

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

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

Les campagnes réalisées à ce jour sont :

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

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

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

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

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

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

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

Plusieurs campagnes sont également prévues :

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

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

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

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

4.1 Performances obtenues

Lorsque la configuration des satellites visibles est satisfaisante, les performances de position en point isolé sont aisément atteintes. La cible (figure 2) ci-contre obtenue à St-Nazaire avec le logiciel de navigation Sercel montre les positions instantanées en latitude, longitude et altitude montrant une superposition au niveau de quelques mètres.

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

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

4.2 Applications envisagées

4.2.1 Rattachement de marégraphes

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

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

4.2.2 Réseau européen d'orbitographie GPS

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

Table 2 - GPS-Solutions for different receiver types

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

* 18 coordinates and 19 ambiguities

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

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

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

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

(G. BEUTLER et al., Austin 1986)

Table 5

BASELINE LENGTHS - SERCEL 1985 CERN CAMPAIGN

TABLE OF SLOPE DISTANCES AND THEIR RMS ERROR PROGRAM PART 1

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

TABLE OF SLOPE DISTANCES AND THEIR RMS ERROR PROGRAM PART 2

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

O = TERRAMETER

N = SERCEL

M = MACROMETER

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

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

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

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

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

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

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

4.2.3 Réseaux géodynamiques locaux

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

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

4.2.4 Lasso

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

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

4.2.5 Applications opérationnelles

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

A = navigation instantanée (20 m)

B = navigation différentielle (3 m)

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

on peut citer les usages suivants :

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

- canevas géodésiques de tous ordres (C) ;

- stéréopréparation à grande échelle (C) ;

- nivellement expédié (B) ;

- nivellement de précision (C) avec géoïde consistant ;

- surveillance de déformations (C) ;

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

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

5. Conclusions

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

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

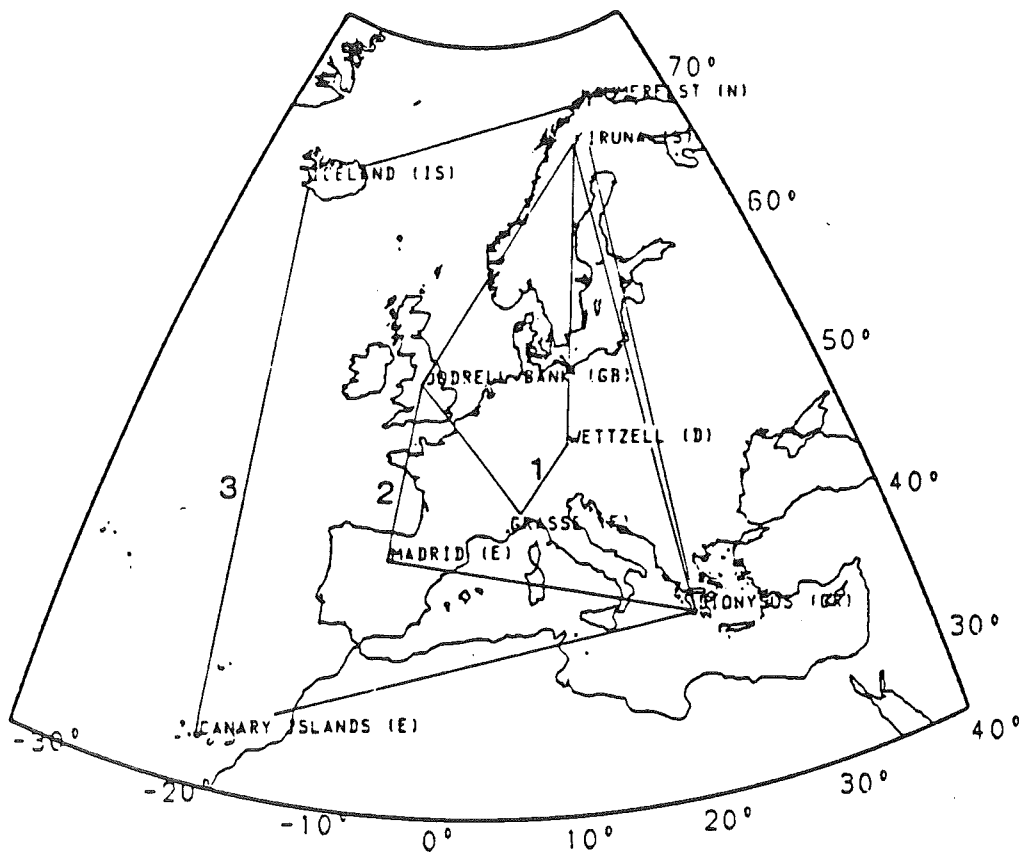


Figure 4 — Considered european tracking networks in the GPS orbit determination feasibility study

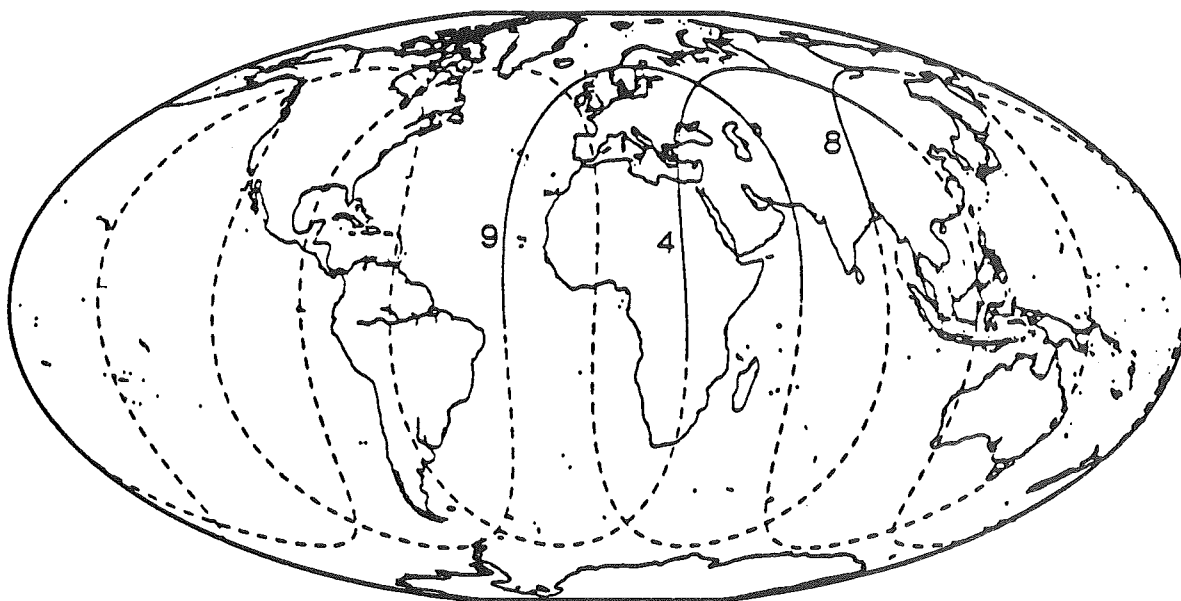


Figure 5 — Ground tracks of Navstar = 4, Navstar = 8
and Navstar = 9

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

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

Bibliographie

Description du système

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

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

Les mesures GPS

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

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

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

Utilisations et performances

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

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

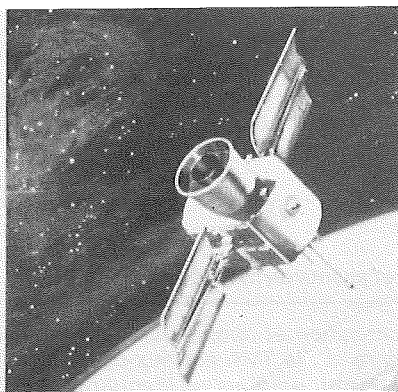
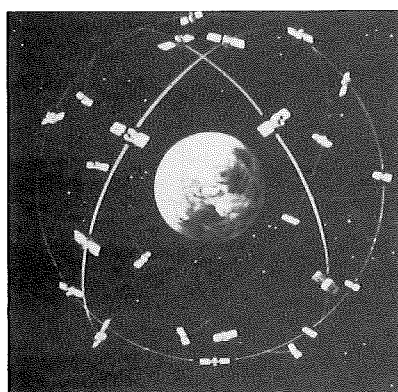
R.L. Merell, Application of GPS for transportation related engineering surveys, 4 th Austin 1986.

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

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

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

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



INFORMATIONS

COMPTE RENDU DE LA TABLE RONDE SUR LA LOCALISATION GPS

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

L'Ingénieur Général de l'Armement Schrupf

Infonav SERVICE DE REFERENCES NAVIGATION

INFONAV QU'EST-CE QUE C'EST ?

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

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

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

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

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

III^e COLLOQUE NATIONAL SUR LA LOCALISATION EN MER

Rueil-Malmaison — 28 septembre — 2 octobre 1987

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

Il est organisé par le groupement Localisation en Mer.

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

CONGRES INTERNATIONAL DES INSTITUTS DE NAVIGATION (2 au 5 février 1988), à l'Université de "New South Wales", Sydney - Australie.

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

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

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

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

BAREME D'ADHESION POUR 1987

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

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

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

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

par G. BONIN, SERCEL

Avant-propos

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

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

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

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

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

1. INTRODUCTION

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

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

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

2. RAPPEL DES METHODES UTILISABLES

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

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

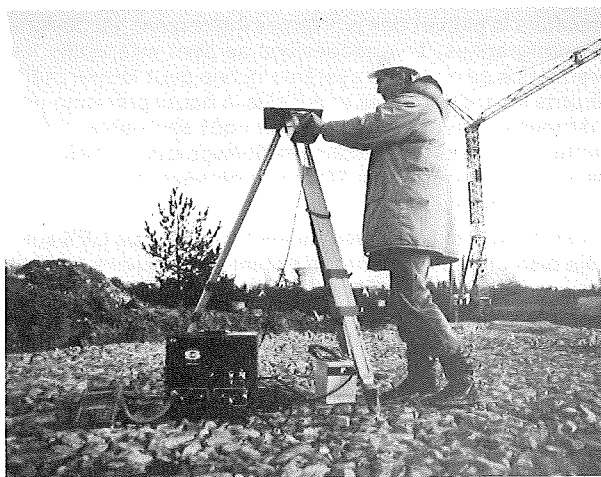
— Les **appareils à ondes radioélectriques** présentent des avantages et inconvénients tout à fait opposés : portée plus importante, indépendance des conditions de visibilité mais une grande sensibilité aux réflexions et multiples trajets.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

3. LE SYSTEME GPS

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

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

Rappel du principe de fonctionnement

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le système GPS peut être utilisé dans des applications différentes :

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

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

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

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

4. APPLICATIONS GEODESIQUES

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

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

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

Contraintes administratives

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

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

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

Principales causes d'erreurs du système

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

La qualité de la mesure dépend :

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

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

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

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

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

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

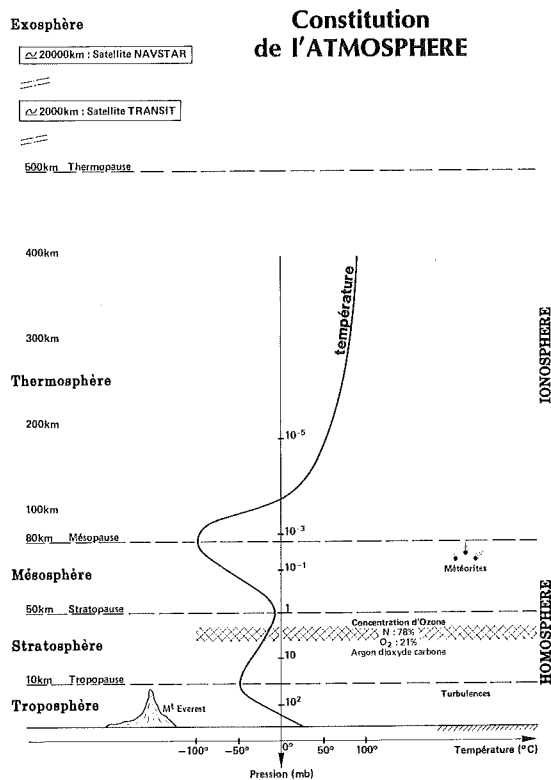


FIGURE I

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

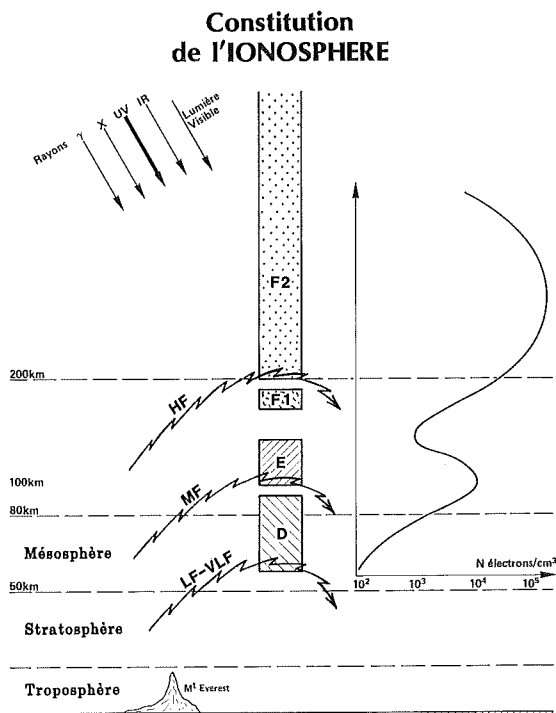


FIGURE II

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

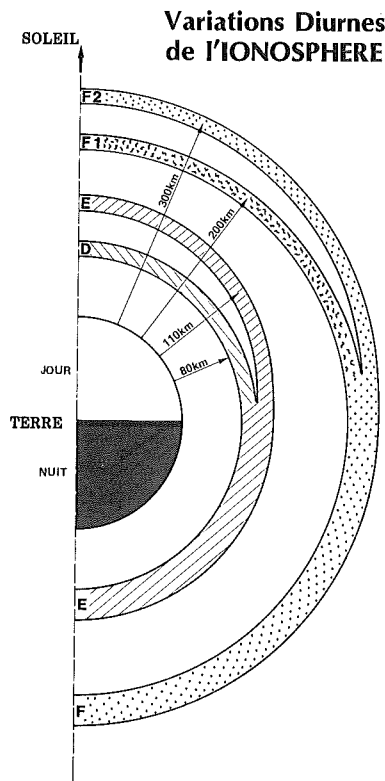


FIGURE III

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

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

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

Z : élévation du satellite.

P : pression en millibars.

T : température en °K.

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

La précision dépend encore :

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

Parmi ces erreurs, on peut citer :

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

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

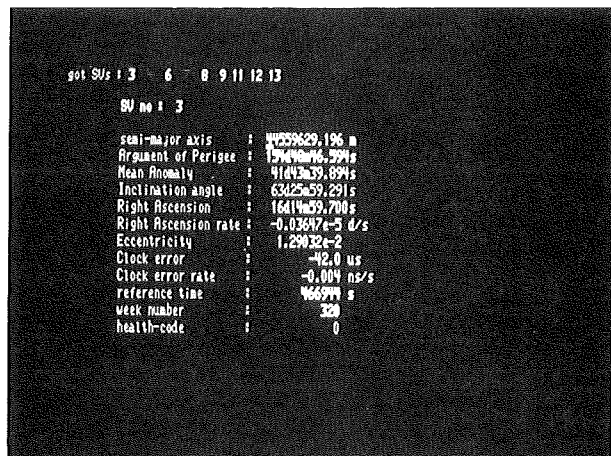
tieuse organisation dans les préparatifs et l'organisation des mesures.

Organisation d'une mission

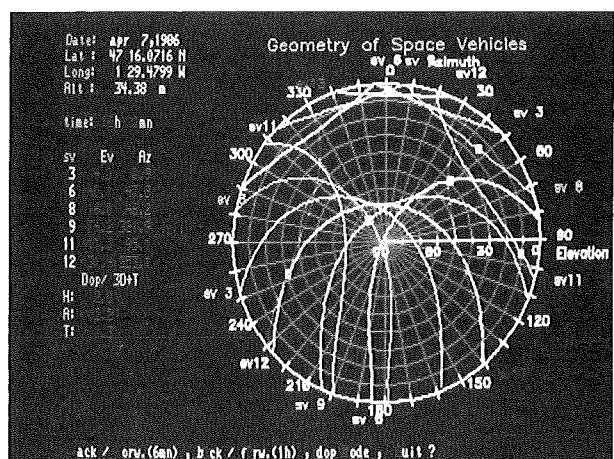
Préparation

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

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



Exemple d'almanach d'un satellite



Représentation polaire des orbites des satellites

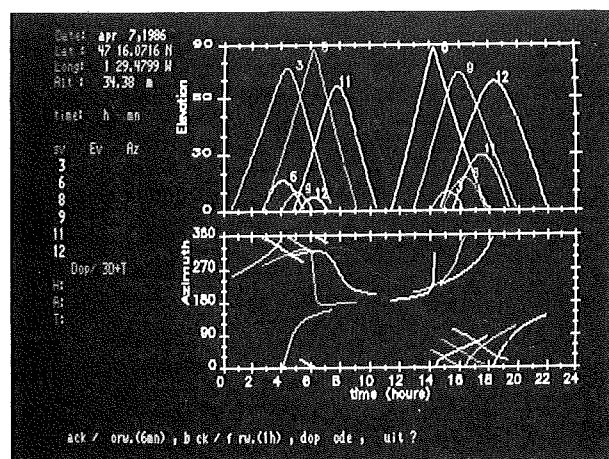
FIGURE IV/a

Reconnaissance des sites

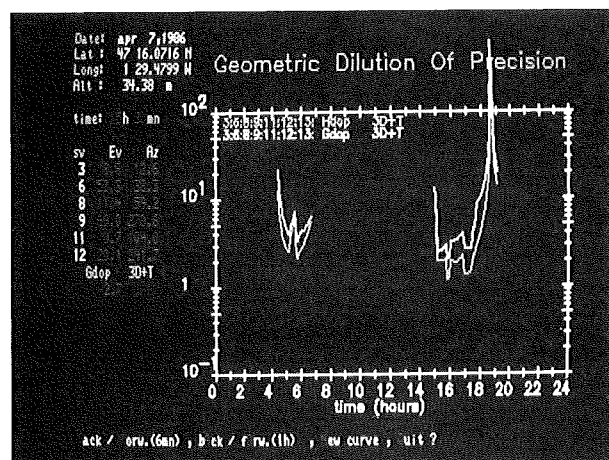
La plupart des opérations de géodésie se font à partir de plusieurs récepteurs recevant simultanément plusieurs

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

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



Représentation cartésienne. Elévation azimut des satellites disponibles.



Exemple de GDOD pour un lieu et une date donnés.

FIGURE IV/b

Exécution de la mission

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

a) Pré-observation ou étalonnage

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

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

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

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

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

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

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

b) Observation proprement dite

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

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

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

c) Post-observations

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

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

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

Post-calculs

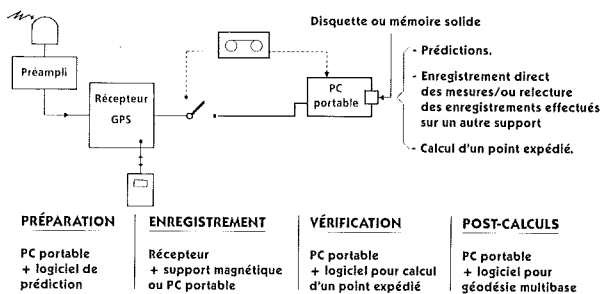
Ayant pris les précautions nécessaires lors des phases précédentes pour s'assurer de la qualité des mesures effectuées, reste à maîtriser les erreurs propres au système et essentiellement dépendantes du message des éphémérides transmis par les satellites eux-mêmes et les erreurs dues à la propagation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

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

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

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

5. SYNOPTIQUE FONCTIONNEL D'UN APPAREIL POUR GEODESIE



Synoptique des opérations concernant une mission.
FIGURE V

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

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

6. CONCLUSION

En terminant cette courte présentation, je voudrais rele-

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

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

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

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



Récepteur GPS SERCEL
FIGURE VI

REFERENCES

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

Tests réalisés avec le WM 101

par Fritz K. BRUNNER, Erwin FREI, Wild Heerbrugg LTD*
and Steven M. CHAMBERLAIN, Magnavox Advanced Products and Systems Company*

Devant l'intérêt porté au WM 101 par les visiteurs lors de la rencontre AFT 86, Wild a choisi de présenter un texte traitant des tests de mesure effectués avec le WM 101. XYZ publiera ultérieurement un article reprenant la conférence de P. Gaubert sur les différentes utilisations non topographiques du GPS.

1. INTRODUCTION

1.1 Précisions obtenues par le GPS en positionnement relatif

Depuis ces dernières années, il est devenu évident que l'utilisation des satellites Navstar-GPS va avoir un impact significatif, voire révolutionnaire sur la topographie.

La topographie par satellite avec le GPS offre de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles. Les points les plus significatifs sont :

- les composantes du vecteur 3D sont déterminées directement,
- la visibilité entre les stations au sol n'est pas nécessaire,
- les sites sont sélectionnés indépendamment de la configuration du réseau,
- il donne une haute précision pour un positionnement relatif.

Afin d'évaluer la précision atteinte par les récepteurs GPS, nous avons pensé qu'il serait utile de déterminer les différences absolues entre les résultats donnés par un GPS et les mesures géodésiques terrestres, ΔS , réunies ces dernières années (voir Fig. 1). Les sources des résultats sont indiquées dans le tableau 1.

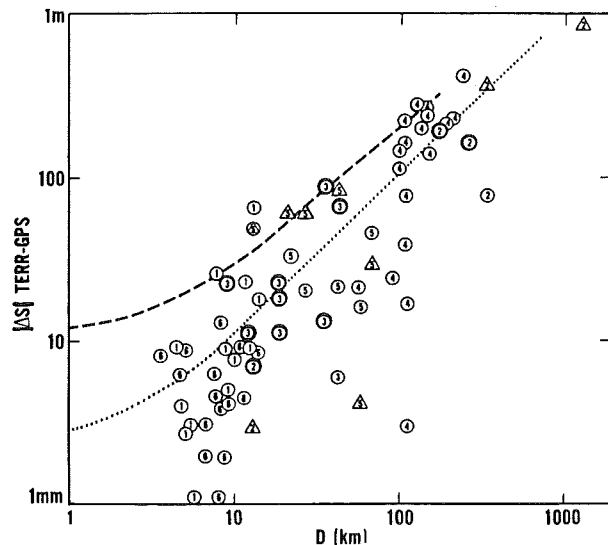


Figure 1 : Précision typique du GPS dans des applications géodésiques. La ligne en pointillé correspond à une précision de 3 mm + 1 ppm de la longueur de la base, celle en tiretée à une précision de 10 mm + 2 ppm.

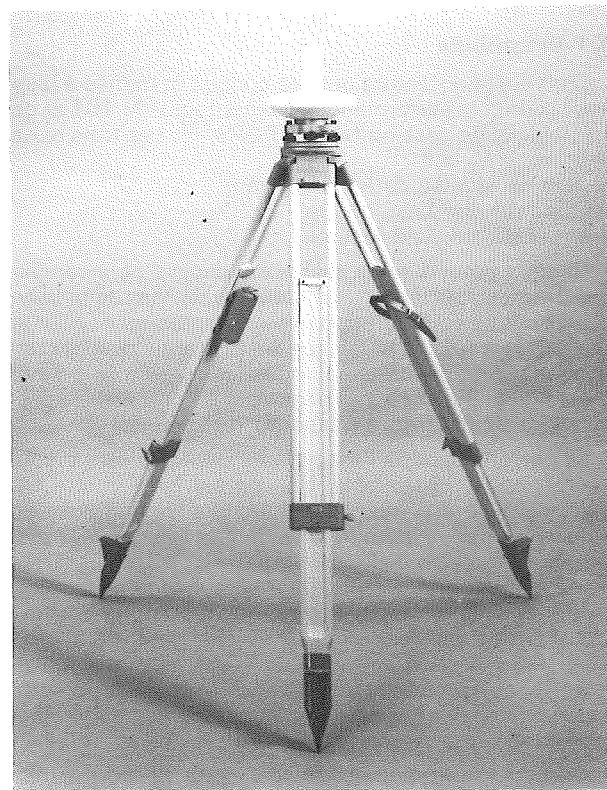
1.2 Tests du WM 101

Récemment Wild Heerbrugg et Magnavox ont formé un "Joint-Venture" (WM Satellite Survey Company) afin de développer, fabriquer et commercialiser une gamme d'équipement de positionnement par satellite GPS. Grâce à cette union, les produits WM profiteront des ressources et de l'expérience unique des deux sociétés partenaires. Le récepteur WM 101 et le logiciel de post-traitement POPSTM forment le premier système de

mesure par satellite GPS de WM. La spécification de précision du WM 101 est de 10 mm + 2 ppm.

Nous voulons tester la performance du récepteur WM 101 aussi indépendamment que possible des sources générales d'erreurs du GPS. Pour cela, nous avons déterminé 3 procédures différentes de test décrites dans cet article. Durant le premier semestre de 1986, les tests de mesure ont été effectués avec le WM 101 dans plusieurs endroits et dans différentes conditions météorologiques et d'environnement. Toutes les données collectées lors de ces tests ont été traitées par POPSTM.

Le principal but de cet article est de présenter quelques-uns de ces résultats et de tirer des conclusions sur la précision accessible avec le WM 101.



WM 101 ANTENNA

2. RECAPITULATION

2.1 Le WM 101 et ses caractéristiques techniques

Le WM 101 (figure 2) est un récepteur à 4 canaux, L1 et code C/A. Les 4 canaux fournissent le message du satellite, la pseudo distance, la mesure de la phase de la porteuse simultanée (L1) concernant jusqu'à 6 satellites. Il a toutes les caractéristiques considérées comme essentielles pour un véritable appareil de terrain : batterie interne et rechargeable pour alimenter l'unité pendant environ 3 à 4 heures d'opération, une platine de cassette incorporée, une résistance aux températures variant de

* CH-9435 Heerbrugg Switzerland

** 2829 Maricopa Street Torrance, CA 90503

– 25° à + 55° C ; de plus il résiste à l'eau et peut flotter. L'antenne du WM 101 figure sur la photo n° 2. C'est une antenne omnidirectionnelle qui maintient sa polarisation circulaire à droite sur l'ensemble de la sphère afin de réduire les effets de trajectoires multiples.

Un câble qui peut aller jusqu'à 120 m (RG 214) peut être utilisé pour connecter le récepteur à l'antenne. L'antenne résiste à une température variant de – 40° à + 70° C.



WM 101.

3. PROCEDURES DE TESTS ET RESULTATS

3.1 Préambule

Trois tests différents ont été conçus et menés à bien pour vérifier la performance du récepteur WM 101 et de son logiciel de post-traitement POPSTM. Les trois tests sont :

- (i) test de la base de longueur zéro.
- (ii) test sur une base courte.
- (iii) test sur un petit réseau.

Chaque procédure de test a été choisie pour remplir des critères spécifiques. La première, le test de la base zéro, est une configuration utilisée couramment pour le test du matériel. Dû au fait que les 2 récepteurs sont connectés à la même antenne, la longueur calculée pour la base devrait être zéro. Les écarts par rapport au zéro proviennent de différences dans les récepteurs.

La performance de l'antenne ne peut pas être testée avec le test de base zéro. Un test sur base courte est nécessaire pour vérifier la performance de l'antenne en plus de celle du récepteur. En admettant que les 2 antennes ne sont pas trop éloignées l'une de l'autre, les effets de propagation et d'orbite devraient être négligeables. Malheureusement la distance entre les 2 antennes n'est plus une valeur vraie comme elle le serait dans le test base zéro. Ainsi la soi-disant "valeur vraie" doit être mesurée avec suffisamment de précision en utilisant un autre équipement, par exemple un MED (distancemètre électronique).

Cette configuration du test base courte est une utilisation très simple de l'équipement GPS en positionnement. C'est pourquoi une 3^e procédure de test, le test sur petit réseau, est proposé. Ce test général couvre non seulement les sources d'erreur relatives au matériel mais aussi les sources externes comme celles déjà mentionnées. Si on observe un réseau de plus de 2 stations plusieurs fois, on peut former les fermetures vecteurs avec les composants des vecteurs indépendants entre les stations. Cela permet une évaluation non biaisée de la précision atteinte puisque la vraie valeur de la fermeture est zéro.

3.2 Test de la base zéro Mesures

Tous les tests sur base zéro ont été réalisés à Torrance

en Californie. L'antenne était montée sur le toit du bâtiment 3 de l'usine Magnavox (33° 50' N, 118° 20' O). Les récepteurs étaient dans le laboratoire. Pour ce rapport, nous avons sélectionné les mesures enregistrées le 22 mars 1986. Les mesures ont été compactées par le récepteur en données recouvrant une minute. Les données disponibles couvrent une période allant de 4 h 00 à 11 h 00 TU pendant laquelle les signaux des satellites n° 3, 6, 8, 9, 11, 12, 13 ont été enregistrés. Un angle minimum de 15° a été sélectionné dans le récepteur et pour le post-traitement.

Traitement

Le volume total des données fut séparé en 3 sessions puisqu'une session est limitée dans le POPSTM à 200 données. La figure 4 est un graphique représentant les 3 sessions et les visibilité des satellites ce jour-là. Le balayage par le POPSTM des doubles différences des phases observées (DDPO) a conduit à l'élimination de toutes les données du satellite 11, à cause d'un bruit trop fort dans la phase. Cependant les DDPO ont été constituées en utilisant toutes les combinaisons possibles d'observations de phase à partir des 6 satellites restants.

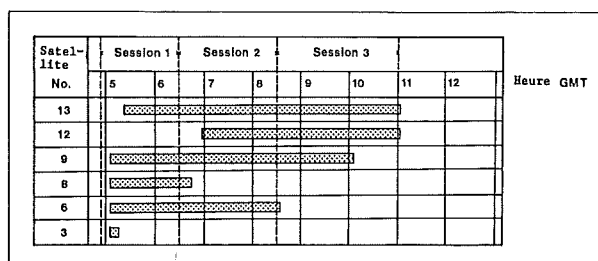


Figure 4 : Graphique de visibilité des satellites pour le test de base zéro le 22 mars 1986. Les 3 sessions sont différenciées. Le satellite 11 n'est pas représenté (voir texte).

3.3 Test base courte

Configuration du test (voir figure 5)

Comparé avec le test sur la base zéro, la configuration de ce test permet de contrôler les différences entre les antennes en plus des 2 récepteurs. On peut admettre que pour une distance entre les antennes de 88 m la plupart des effets d'environnement du GPS sont fortement corrélés. Ces effets sont principalement la propagation atmosphérique et les erreurs d'orbite. En différenciant les mesures de phases pour calculer la base, la partie commune à toutes les sources d'erreurs sera annulée. Les erreurs restantes seront en tout premier lieu causées par les différences des récepteurs et des antennes.

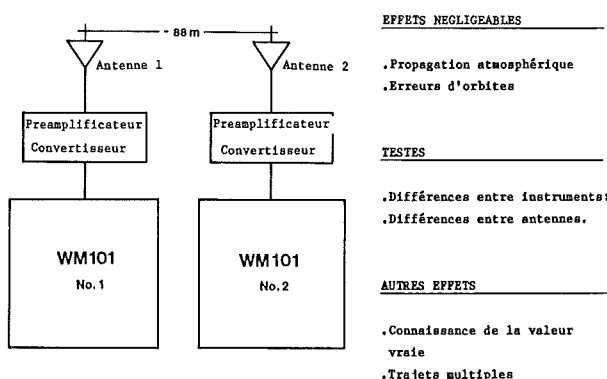


Figure 5 : Configuration du test à base courte.

La différence entre ces estimations de longueurs de base qui sont totalement indépendantes est statistiquement non significative. En considérant que différentes paires de récepteurs ont été utilisées, la concordance des longueurs de la base est excellente. La comparaison avec le test base zéro ne montre aucun changement significatif dans les résultats. Cela montre que les performances des antennes correspondent aux spécifications.

3.4 Test petit réseau

Configuration du test

L'observation répétée d'un petit réseau permet des calculs de fermetures de vecteurs indépendants pour lesquels les vraies valeurs devraient être 0 dans les 3 coordonnées. Ainsi le nombre de fermetures de vecteurs indépendants, C , est donné comme étant :

$$C = (n - 1)(s - 1)$$

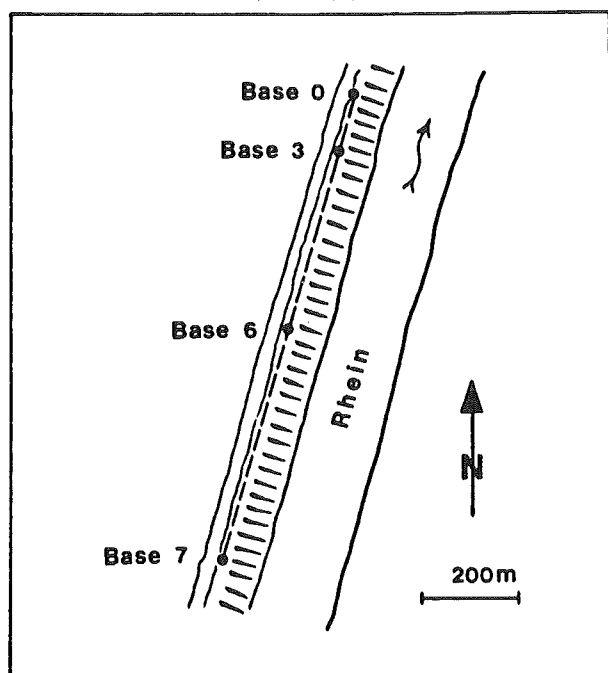


Figure 7 : Croquis des installations de calibration MED près d'Heerbrugg. Seuls les piliers occupés y figurent.

Traitement

Tous les calculs ont été réalisés avec POPSTM. Les détails concernant le traitement sont décrits en (10). Les données des 3 premières nuits (sessions) ont été analysées. Des définitions de base identiques avec Base zéro comme point de référence et les 3 bases suivantes :

Base 0 – Base 3
Base 0 – Base 6
Base 0 – Base 7

La première étape a été de traiter chaque session comme un réseau à elle seule. Ensuite, les données des 3 sessions ont été utilisées en un seul ajustement. Pour chaque ajustement les paramètres, modèles, et choix suivants ont été sélectionnés :

Résultats

Les erreurs emq des observations de phases individuelles étaient égales à la moitié des valeurs pour les doubles différences figurant dans le tableau 5, c'est-à-dire 2 à 4 mm. Les résultats (tableau 6) des longueurs de base calculées (distance suivant la pente) montrent une répétabilité allant de 0 à 9 mm entre les sessions. Les valeurs

de référence MED (voir tableau 6) sont les moyennes pondérées de séries de mesures utilisant divers MED. La précision peut être considérée égale à 2 mm. Le tableau 6 montre que la déviation maximum des résultats du WM 101 avec la référence MED est de 13 mm. C'est un excellent résultat quand on considère la géométrie plutôt pauvre des satellites pour cette campagne de tests.

	Base 0-Base 3 (m)	Base 0-Base 6 (m)	Base 0-Base 7 (m)
EDM Ref.	116.508	501.514	1001.519
Session 1	116.513	501.518	1001.515
Session 2	116.513	501.524	1001.508
Session 3	116.513	501.527	1001.510
3-session, 4-station Réseau	116.513	501.523	1001.510

Tableau 6 : Longueurs de bases, références MED et valeurs calculées.

Base 0 – Base 3
Base 3 – Base 7
Base 7 – Base 0

pour le calcul des fermetures. Les différences de coordonnées ont été calculées pour chaque session séparément. Les résultats figurent dans le tableau 7. Le système de coordonnées utilisé est le WGS-72. Les polygones pour chaque session montrent de petits écarts de fermetures puisque les bases ont été calculées de façon séparée plutôt que dans un ajustement de réseau pour chaque session. Les petits écarts de fermetures pour chaque "session" indiquent qu'aucune erreur grossière n'a été faite. Ce ne sont pas des mesures de la précision d'observation puisque les résultats des 3 bases ne sont pas indépendants.

Comme cela a été expliqué précédemment, seulement 4 fermetures indépendantes peuvent être formées pour le triangle (0-3-7) qui a été simultanément observé par 3 récepteurs pendant 3 sessions indépendantes. Dans le tableau 8 figure la formulation de 4 fermetures différentes. Les écarts de fermetures sont calculés en utilisant les différences de coordonnées appropriées figurant dans le tableau 7. Ils sont repris dans le tableau 8 (en ΔX , ΔY , ΔZ et longueur IFI).



De jour comme de nuit, le système Wild-Magnavox WM 101 détermine avec précision les coordonnées x, y, z, de points sans intervisibilité. La photographie a été prise au stade Olympique de Munich.

Sachant que IFI est la somme des erreurs "vraies" de la base, on peut calculer la valeur rms d'une détermination de base m_b en utilisant la formule :

$$m_b = \left[\frac{K \cdot \sum_{i=1}^4 f_k^2}{sn} \right]^{1/2}$$

formule qui donne avec nos données $m_b = 3,3$ mm. Puisque les bases sont plutôt courtes, m_b peut être comparée au terme constant de la spécification de la précision du WM 101.

Cela confirme l'excellente performance des récepteurs WM 101 pour les mesures sur le terrain. Ce résultat correspond à l'idée que l'on s'était faite de la précision globale des mesures GPS schématisée par la figure 1.

4. CONCLUSION

La Satellite Survey Company Wild-Magnavox a lancé récemment ses premiers produits, le WM 101 et le

POPSTM. Trois configurations de test ont été désignées afin de vérifier la performance des récepteurs et des antennes du WM 101. Les 3 configurations étaient les suivantes : un réseau base zéro, base courte et un petit réseau.

Pour tous les ensembles de données calculés, le rms pour une simple phase d'observation a été calculé inférieur à 3 mm. Les tests à base zéro et à base courte ont montré que les récepteurs et l'antenne avaient une performance bien meilleure que celle établie dans le terme constant de la spécification de la précision pour le récepteur WM 101 (10 mm).

Les résultats du test petit réseau et particulièrement les fermetures de vecteur (3,3 mm rms pour une longueur de base déterminée indépendamment) montre l'excellente performance de l'équipement de positionnement par satellite GPS WM 101.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) SCHERRER R. The WM GPS Primer (1985) : Special Publication, WM Satellite Survey Company.
- (2) STANSELL TA Jr, CHAMBERLAIN SM, BRUNNER FK (1985) : The First Wild-Magnavox GPS Satellite Surveying Equipment : WM101. Proc First Int Symp on Precise Positioning with GPS, Rockville, US Dept of Commerce : 147 - 160.
- (3) HEISTER H, SCHÖDLBAUER A, WELSCH W (1985) : Macrometer Measurements 1984 in the Inn Valley Network. Proc First Int Symp on Precise Positioning with GPS, Rockville, US Dept of Commerce : 567 - 578.
- (4) GOAD CC, Sims ML, Young LE (1985) : A Comparison of Four Precise Global Positioning System Geodetic Receivers. IEEE Transactions GE-23 : 458 - 466.
- (5) HOTHEM LD, FRONCZEK CJ (1983) : Report on Test and Demonstration of Macrometer (TM) Model V-1000 Interferometric Surveyor. FGCC Report : FGCC-IS-83.2.
- (6) HEINEKE U (1984) : Ergebnisse von Macrometer-Messungen in Niedersachsen und Vergleiche mit anderen Verfahren. Paper presented at the Seminar "GPS-

System und Macrometer-Messungen" Bonn (28 nov. 1984).

(7) VANICEK P, BEUTLER G, KLEUSBERG A, LANGLEY RB, SANTERRE R, WELLS DE (1985) : DIPOP - Differential Positioning Program Package for the Global Positioning System. UNB-Surveying Engineering-Technical Report n° 115.

(8) GERVAISE J, MAYOUD M, BEUTLER G, GURTNER W (1985) : Tests of GPS on the CERN-LEP Control Network. Proc Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys. Uni BW Vermessungswesen Heft 20 : 337 - 358.

(9) CHAMBERLAIN SM, EASTWOOD R, MAENPA J (1986) : The WM101 GPS Satellite Surveying Equipment. Proc Fourth Int Geod Symp on Satellite Positioning, Austin, in print.

(10) FREI E, GOUGH R, BRUNNER FK (1986) : POPS™ : A New Generation of GPS Post-Processing Software. Proc Fourth Int Geod Symp on Satellite Positioning, Austin, in print.

Le Bureau et le Conseil de l'Association Française de Topographie souhaitent aux membres, lecteurs d'XYZ et sympathisants une :

Bonne Année 1987

Happy New Year

Fröhliches Neujahr

Feliz Año Nuevo

Beste Wensen Voor 1987

Glaedelig Jul og Godt Nyttår

Hyvää Joulua ja Onnellista Uuta Vuotta

Gott Nytt År 1987

De Beste Ønsker for 1987

La Multi Ani

Boldog Új Év

Najlepsze Zyczenia W 1987 r.

祝賀新年

สวัสดีปีใหม่

Iyl Seneler

מיטב האיהו לים לשנת 1987

Поздравляю

كل عام وانتم خير

Migliori Auguri per l'Anno 1987

Bom Ano Novo 1987

福

賀

新

年

Rencontre AFT 86 Cachan

Les exposants vous parlent

BLANCHET-LOCATOP

8, rue Jasmin, 75016 Paris. Tél. : (1) 42.24.01.40. Téléc 615 165 F.

Blanchet-Locatop vous a présenté au cours de cette réunion une configuration de tachéométrie électronique Wild comprenant 1 Théomat T 1000 + 1 Distomat D14 + 1 Terminal de terrain GRE 3, venant ainsi compléter un parc de près de 200 instruments topographiques Wild destinés à la location.

En informatique, le HP Vectra, dernier-né de la gamme Hewlett Packard et compatible IBM PC AT/XT, ouvert à une très large bibliothèque de logiciels dont TOPOJIS PC pour la topographie et AUTOCAD pour la CAO/DAO.

De nombreux congressistes ont été sensibles à leurs performances et leur simplicité d'utilisation.

Blanchet-Locatop, c'est la disponibilité quasi immédiate de ces matériels et d'une grande partie de la gamme Hewlett Packard, à la Location et à la Vente, grâce à un parc de plus de 3 000 ordinateurs et périphériques.

ESTP

57, boulevard Saint-Germain, Paris Cedex 05.
Tél. : 46.34.21.99.

Le Traster-Matra qui se trouve à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics remplit deux fonctions :

D'une part, nous avons la formation des élèves-ingénieurs et une activité de formation continue. Nos futurs ingénieurs-géomètres sont les seuls en France, dans le secteur privé, à avoir sur place et à leur disposition un appareil de restitution analytique. En ce qui concerne la formation continue, nous assurons sur place, à l'Ecole, ou à domicile, France et étranger, l'éducation et l'entraînement du personnel amené à travailler sur un Traster.

D'autre part, nous sommes amenés, bien que ce ne soit pas notre vocation, à effectuer quelques travaux pour des professionnels qui ont des applications impossibles à mener à bien sur du matériel analogique, pour des raisons de précision ou de prises de vues "bizarres".

La journée du 27 octobre 86 a permis aux participants de voir ce matériel. Et nous sommes prêts à prendre en considération toutes demandes de renseignements de la part d'autres Ecoles ou de professionnels de la topographie.

LE PONT EQUIPEMENTS

Rue Copernic (accès autoroute Lyon-Marseille) - 38670 Chasse-sur-Rhône - BP N 11 - Tél. : 78.73.02.88 - Téléc LEPONT 380034 F F.

Première présentation de l'Elta 4 de Carl Zeiss, Oberkochen, RFA. Ce tachéomètre électronique a la particularité d'offrir une large palette de programmes de mesure et de calcul spécifiques, et la possibilité de l'intégrer dans un système de traitement de données.

FET 2, de Geo-Fennel RFA. La première station totale sur le marché mondial capable de mesurer aussi bien sur cibles naturelles (ex. béton, arbres,...) que sur prismes-réflecteurs, et avec la même précision.

Logiciels Geomat, Geotra et Geotop, regroupant les principaux travaux de topographie et fonctionnant sur IBM-PC et compatibles.

EQUIMAT international

16, avenue de la république - 78600 Le Mesnil-le-Roi - Tél. : (3) 962.35.28 - Téléc : 696161 F - France.

* STATIONS TOTALES COAXIALES : SET 2, SET 3, SET 4, SOKKISHA

Affichage et claviers doublés sur les 2 côtés de l'appareil, 20 touches pour un emploi clair et rapide. Possibilités lecture automatique du cercle horizontal et vertical, distance corrigée à l'horizontale, calcul de la distance horizontale ou oblique entre 2 points visés, de leur différence d'altitude, de l'altitude d'un point sans positionnement d'un réflecteur en hauteur, tracking. Calcul automatique des coordonnées X,Y,Z. Calcul de la différence entre un point recherché et un point visé pour SET 2 et 3.

	Set 2	Set 3	Set 4
Précision de mesure	± 3 mm + 2 ppm	± 5 mm + 3 ppm	± 5 mm ± 3 ppm
Précision d'angle	± 2 secondes	± 5 secondes	± 5 secondes
Portée	1 600 m avec 1 prisme	1 300 m avec 1 prisme	1 300 m avec 1 prisme

* Carnet Electronique de terrain SDR 2.

Compact, puissant, enregistre jusqu'à 1 000 points, se branche sur imprimante, table traçante ou ordinateur, permet de contrôler et de procéder à des corrections sur le terrain, connectable aux Stations Totales et Télémètres Sokkisha.

* NOUVEAU TELEMETRE RED MINI 2 SOKKISHA

La miniaturisation à la japonaise. 700 grammes de haute technologie, adaptable sur tous les théodolites, portée 1 200 m, doté d'un micro-ordinateur, mesures de distances avec une précision de ± 5 mm + 5 ppm. Affichage à cristaux liquides, mise au point coaxiale, dispositif acoustique d'avertissement, atténuateur automatique, tracking...

En option : clavier de calcul pour la distance oblique, distance corrigée à l'horizontale, dénivelée, différence entre un point visé et un point recherché, connectable au SDR 2.

* THEODOLITE NUMERIQUE ELECTRONIQUE DT 20 SOKKISHA

Lecture instantanée de l'angle horizontal ou vertical par affichage à cristaux liquides (8 chiffres), 1 écran sur chaque face de l'appareil. Sélectionner précision des cercles horizontal et vertical : 1", 5", 10" et 20", connectable au SDR2.

SERCCEL/France BP 64 44471 Carquefou Cedex France. Tél. : 40.30.11.81 - Téléc 710 695 F.

Matériel présenté à Cachan

La Société Serccel expose à cette manifestation des récepteurs GPS en fonctionnement.

Les matériels présentés travaillent sur la fréquence L1 et sur le code C/A ; ils possèdent une structure parallèle permettant la poursuite de cinq satellites simultanément. Cette architecture permet aux récepteurs de traiter l'information à la cadence maximale de renouvellement des messages envoyés par les satellites.

Un premier type de récepteur, le TR5S, destiné aux applications de navigation précise, fournit un point en temps réel entièrement renouvelé toutes les 0,6 s. Par sa constitution et son organisation, ce récepteur permet à l'utilisateur de choisir et d'interpréter facilement sur un écran vidéo couleur les conditions d'obtention du point et sa qualification ; il permet également d'avoir accès à des titulaires de prédictions de passage des satellites et possède toutes les possibilités de sorties des résultats sur deux voies numériques RS 232 indépendantes.

Un second type de récepteur, le NR 52, destiné aux applications de géodésie et de topographie, permet d'enregistrer des mesures brutes afin de les traiter en

post-calcul. Poids, encombrement et consommation permettent à ce capteur d'être facilement mis en œuvre sur le terrain.

A l'aide d'un compatible PC portable terrain, connectable sur le NR 52, l'utilisateur peut :

- préparer une mission
- acquérir et enregistrer les données
- surveiller et contrôler les enregistrements
- extraire un point en léger différé

Les appareils présentés sont déjà en utilisation dans des organismes ou sociétés françaises et étrangères.

SLOM, ZEISS RFA ET TOPCON

11 bis, rue du Perche, 75003 Paris. Tél. : (1) 42.71.28.30 (postes 3230 et 3239) - Téléc 240 729.

SLOM, présent à la rencontre de l'AFT du 29 octobre 1986 proposait en dehors des instruments classiques, les nouveaux tachéomètres Zeiss Elta 4 "E", ainsi que l'ET-1 et le GTS-3 Topcon, tachéomètres électroniques intégrés, bien connus des professionnels de la topographie.

Le GTS-3, en particulier, est actuellement le plus petit tachéomètre électronique intégré du Marché et son raccordement à l'enregistreur FC-2 (C) en fait une station complète très performante pouvant être raccordée aux différents ordinateurs y compris les compatibles PC existant sur le Marché.

Un ensemble de logiciels, haut de gamme, conçu par la Société Micros G de Grenoble, et avec laquelle SLOM travaille en étroite coopération, complète cet ensemble.

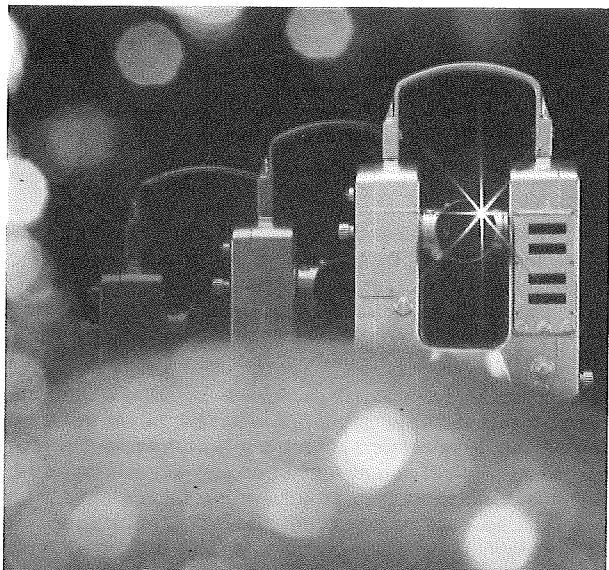
SLOM, Département de la Société Essilor International, est désormais présent en Province dans ses agences de :

- Bordeaux
- Lyon
- Nantes
- Toulouse

où les mêmes services vous seront proposés.

THORMANN KERN FRANCE

35, rue Fondary, 75015 Paris. Tél. : (1) 45.78.61.11 + Téléc 202 453.



XYZ n° 28

Matériel "Kern" exposé par la Sté Thormann "Agent exclusif" en France

Stations complètes électroniques avec enregistrement

Deux versions du système modulaire ont été exposées.

Les théodolites E2 (précision 0,1 mgon) et E1 (précision de 1 mgon) couplés au télémètre DM.503 et à l'ordinateur de terrain Alphacord R8.

Ces deux ensembles modulables, selon les désirs des utilisateurs, d'une précision angulaire importante, avec des portées supérieures à 2 000 mètres, répondent à toutes les applications de topométrie et topographie.

Télémètres électroniques autoréducteurs

Les modèles DM.550, système modulaire d'instrument Kern, et DM.104, adaptable sur la plupart des théodolites du marché, désormais mesurent directement et automatiquement les distances horizontale et oblique, la dénivellation et l'angle vertical. Le transfert de ces différentes valeurs à l'ordinateur de terrain s'effectue aisément.

Système multibase

Un atout de premier ordre. Désormais, il est possible d'équiper les instruments Kern d'interfaces qui s'adaptent à tous les systèmes de centrage connus, tels que : Wild, Zeiss.

WILD + LEITZ FRANCE

86, av. du 18-Juin 1940 - BP 326 - 92506 Rueil-Malmaison Cedex - Téléphone (1) 732.92.13 + Téléc : WLF 203334 F



XYZ n° 29

Lors de la rencontre AFT du 29 octobre, Wild a présenté une partie de sa gamme d'instruments de géodésie connue pour sa variété et allant jusqu'aux équipements de positionnement par satellite avec le WM 101.

La présentation traditionnelle de matériel était placée sous le signe de l'électronique avec les Théomat T 1000 et T 2000, le Tachymat TC 2000, les Distomat DI 1000 et DI 5S et l'enregistreur GRE 3.

Mais ce qui a suscité le plus d'intérêt, c'est la démonstration sur le terrain du système de positionnement par satellite développé par Wild Magnavox, le WM 101, et de son logiciel de post-traitement PoPs. Bien que la configuration des satellites visibles n'ait pas été particulièrement propice, ce que nous avait d'ailleurs prévu le logiciel PoPs, les visiteurs ont pu apprécier la compacité du matériel, sa facilité d'utilisation, et les performances du logiciel PoPs implanté sur un IBM AT et permettant, entre autres, de préparer une mission, de calculer les coordonnées des points de stations, etc... Un programme qui a été jugé logique et très performant par les visiteurs.

SOPPEC

26, rue Vignon, 75009 Paris - 47.42.65.85.

La Société SOPPEC est une PME française spécialisée

dans la conception et la fabrication de produits techniques en aérosols.

Cette Société située sur la Zone Industrielle de Nersac Angoulême a présenté un traceur marqueur de conception 100 % française destiné aux opérations de repérage provisoire, marquage, etc... sur le sol ou tout autre support.

L'aérosol s'utilise tête en bas. Il est présenté en 7 couleurs fluorescentes et un jaune TP non fluorescent.

FLUO TP c'est l'aérosol propre, économique, au fonctionnement fiable, au débit régulier, son gaz propulseur est non toxique. C'est une peinture sans plomb au séchage très rapide.

Pour les topographes, pour les géomètres, pour les conducteurs de travaux, c'est l'outil de repérage ou de signalisation idéal. Ce produit est déjà utilisé par de nombreux géomètres, bureaux d'études, DDE, grosses entreprises de Génie Civil, et devrait connaître également un joli succès à l'exportation.

Jusqu'à l'apparition de ce produit français, seuls les Américains occupaient le terrain...

Etaient aussi présents à Cachan...

— **AZOULAY-PENTAX**
10, rue Saint-Marc, 75002 Paris.
Tél. : 42.33.60.46 et 45.08.12.59.

— **BORNES ET BALISES**
BP 14, Zone Industrielle, 17290 Aigrefeuille-d'Aunis.
Tél. : 46.35.54.00.

— **COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE**
43, bd de la Bastille, 75012 Paris. Tél. : 43.44.12.34.

— **DIGIMATEK**
7, rue Sorbier, 75020 Paris. Tél. : (1) 43.66.81.59.

— **GEOTRONICS**
Parc d'activités "Les Portes de la Forêt", allée du Clos des Charmes, Collégien, 77400 Lagny.
Tél. : 60.05.13.14.

— **MESURES ET SYSTEMES**
6, rue Desjardins, 60500 Chantilly. Tél. : 44.57.27.97.

— **SPAR-AGRO**
BP n° 2, 08450 Remilly-Aillicourt. Tél. : 24.26.74.22.
Télex BOLO 840164.
Numéro vert gratuit (16) 05.29.99.99

— **TECHNIPHONE**
Direction commerciale, Centre d'affaires Paris-Nord, Bâtiment Ampère, BP 246, 93153 Le Blanc-Mesnil Cedex. Tél. : 16 (1) 48.65.33.23
Télex 231 297 F.

— **THOMAS**
12, rue Friant, 75014 Paris. Tél. : 45.43.55.25.

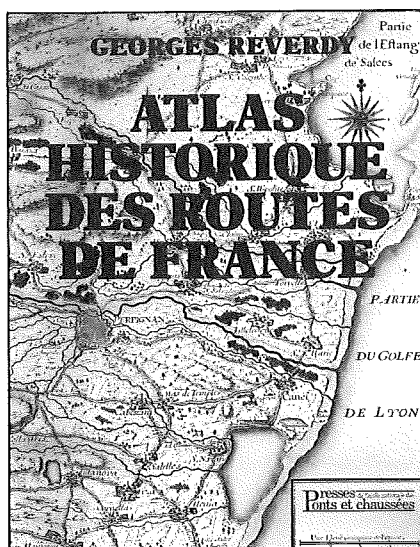
Répertoire des Annonceurs - N° 29

LART	18
SLOM	II CV
TOPO CENTER	IV CV
ZEISS LENA — COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	2
SOPPEC	61
WILD + LEITZ FRANCE	I CV
APEI	48

Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées

Cet atlas, édité par les Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, retrace l'histoire des routes de nos régions, par de nombreuses cartes anciennes, du XVI^e siècle au Second Empire, dont la reproduction était justifiée par la rareté de beaucoup d'entre-elles.

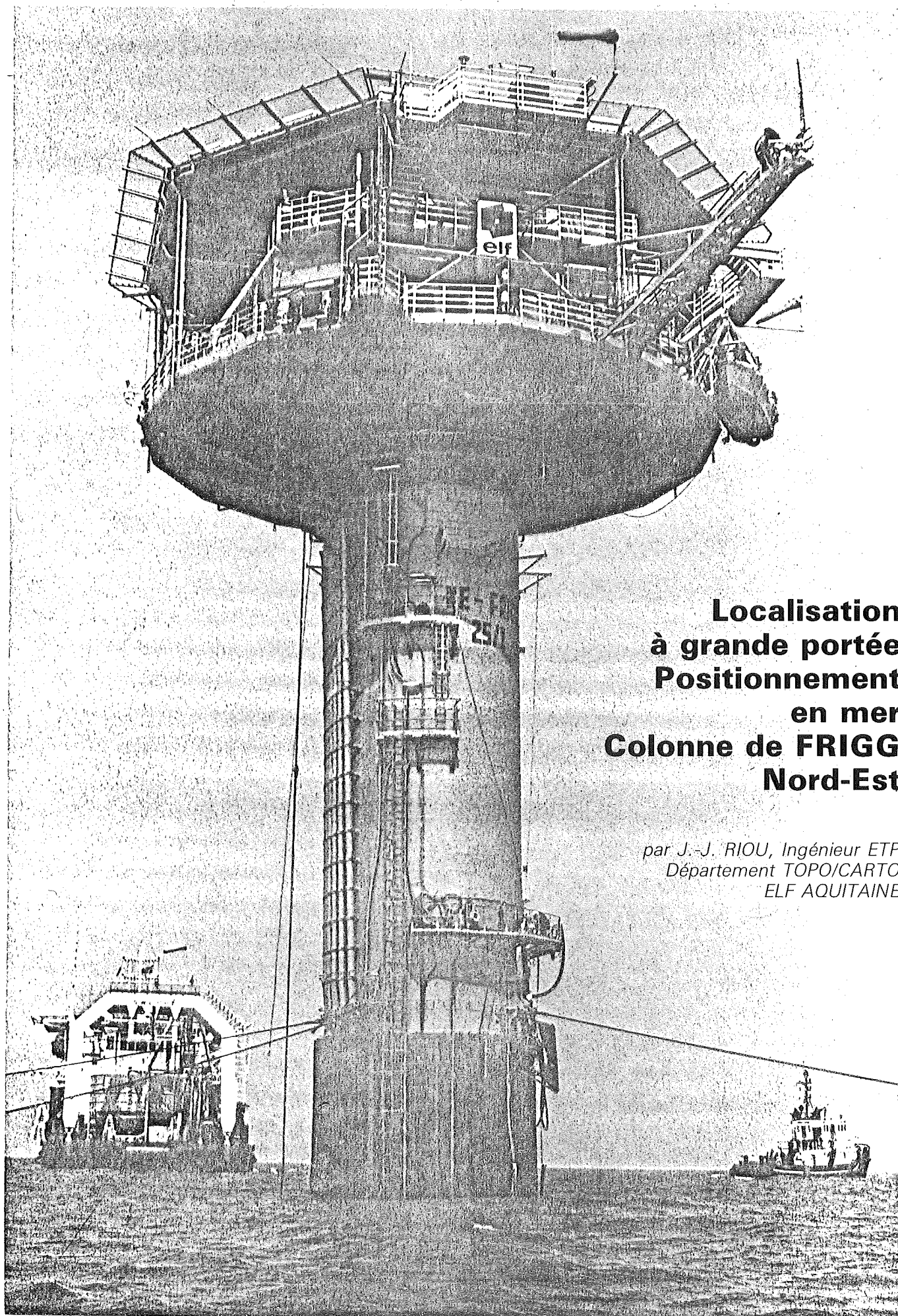
L'histoire des routes et celle de la cartographie sont traitées en parallèle dans cet ouvrage car route et carte, liées par nature, ont progressé en s'appuyant l'une sur l'autre depuis leur début. Des textes de présentation, riches d'informations et d'anecdotes, complètent les des-



criptions parfois sommaires ou fantaisistes des géographes. Le lecteur aura certainement plaisir à feuilleter ces cartes vénérables, aux cartouches élégants et aux couleurs souvent délicates, sur lesquelles il pourra retrouver les anciens itinéraires du pays de ses ancêtres.

1 volume relié sous jaquette.
184 pages. Format 28 x 37.
61 reproductions de cartes anciennes en couleur. ISBN 2-85978-090-4.
Code commande 13311.

PRIX DE LANCEMENT :
jusqu'au 30 novembre 295 F.
à partir du 1^{er} décembre 330 F.



**Localisation
à grande portée
Positionnement
en mer
Colonne de FRIGG
Nord-Est**

*par J.-J. RIOU, Ingénieur ETP
Département TOPO/CARTO
ELF AQUITAINE*

1 — Positionnement en mer dans l'industrie pétrolière

La recherche pétrolière en mer se déroule généralement à quelques dizaines voire quelques centaines de kilomètres des côtes.

Il s'agit de localiser un bateau avec des précisions pouvant varier de 10 à 50 m, parfois 200 m.

Les moyens de topographie terrestre ne peuvent pas satisfaire ces conditions à grande distance des côtes.

Nous faisons donc appel à des systèmes de radionavigation du type Syledis, Artémis, Pulse 8, etc...

Les principes consistent à déterminer, dans un système géodésique servant de référence (datum), la position du bateau en s'appuyant sur des points connus à terre.

Lors de l'installation de structures fixes, pour les mises en production, la précision demandée peut être plus fine, de l'ordre de quelques mètres.

Dans ce cas, nous utilisons des moyens de topographie terrestre (théodolite, distancemètre...) ; et, s'il s'agit de positionnement relativement à une structure sous-marine, nous employons l'acoustique.

L'exemple suivant, de mise en place de la colonne Frigg Nord-Est, met en évidence les différentes méthodes couramment employées dans l'industrie pétrolière offshore.

2 — Colonne de Frigg Nord-Est

2.1 — Introduction

Cette opération s'est déroulée en 1983 à 16 km du champ de Frigg en Norvège.

Le but de l'opération consistait au cheminement d'une colonne de 145 m de hauteur avec un tirant d'eau de 95 m entre le fjord de Stavanger et le champ de Frigg Nord-Est. Son installation était réalisée relativement à un

template (structure sous-marine) situé au fond de la mer. La tolérance d'implantation relativement à ce template était de ± 1 m en distance et $\pm 1^\circ$ en orientation.

Le système principal de positionnement était l'Artémis MKIIIIS. Deux stations fixes étaient installées à Randa-berg et sur l'île de Karmoy.

L'Artémis est un système angle-distance, l'orientation en gisement étant faite sur deux points géodésiques norvégiens dont nous avons contrôlé la validité par triangulation.

Trois stations réceptrices étaient situées sur la colonne à différents niveaux pour éviter les problèmes de zones d'ombre (DIP ZONE).

Le système secondaire était constitué de trois théodolites qui nous donnaient la position de la colonne par visées d'inter-sections à partir de 6 stations, (T1, T2....) connues en coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator).

• Gyrocompas et inclinomètres :

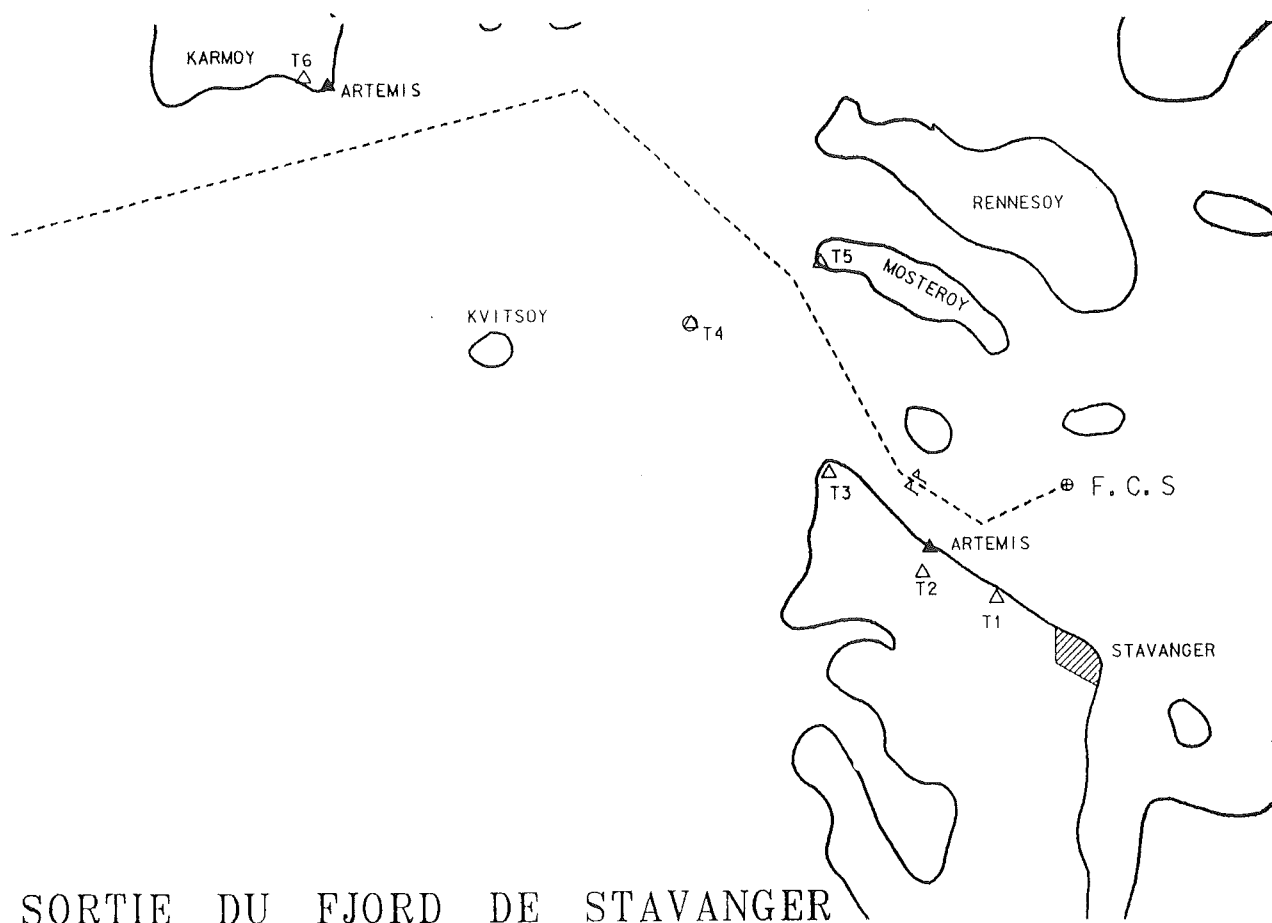
A partir de l'antenne Artémis placée du centre de l'héli-deck ou des antennes situées à différentes hauteurs, nous devons obtenir les coordonnées au centre de la base de la colonne.

Pour cela, nous disposons de deux gyrocompas calibrés à terre et installés ensuite sur la colonne.

Cette colonne étant articulée à la base nous avons des inclinomètres indiquant le roulis et le tangage ; éléments indispensables pour calculer les excentrement entre le sommet et le centre de la base.

Nous distinguons trois phases :

- La sortie du fjord
- Le trajet fjord-champ
- La mise en place finale



SORTIE DU FJORD DE STAVANGER

2.2 — Préparation de la sortie du fjord

2.2.1 — Stations

Nous avons implanté les deux stations Artémis à des hauteurs faibles pour les problèmes de zone d'ombre qui sont proportionnelles à la hauteur des stations.

Par triangulation au théodolite WILD T2 plus distancemètre DI3S, à partir des points géodésiques du réseau norvégien, nous avons établi et contrôlé les deux stations Artémis.

Nous avons suivi la même procédure pour la mise en place des stations théodolites en contrôlant sur chaque station les références en orientation.

Les coordonnées des stations étaient données en UTM ED 50 pour une question d'homogénéité en opération entre les résultats de l'Artémis et les visées d'intersections par théodolites.

2.2.2 — Calibration de l'Artémis

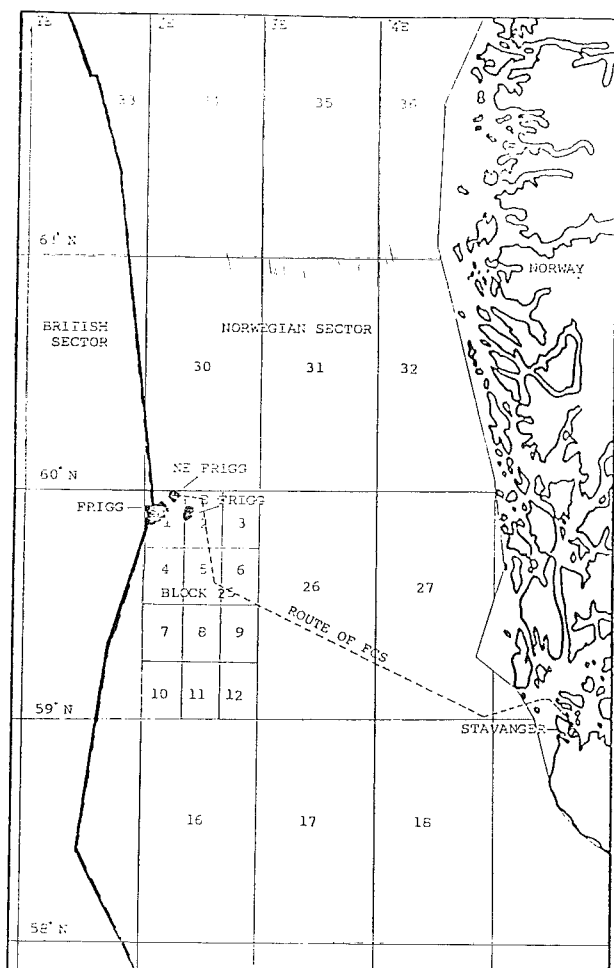
Une station fixe Artémis fut installée à Randaberg. La station mobile était implantée au centre de l'hélideck sur la colonne dans le fjord.

Nous avons alors comparé les coordonnées de la colonne issues de l'Artémis et des visées d'intersections à partir de deux stations théodolites.

2.2.3 — Calibration gyrocompas et inclinomètre

Une calibration des gyrocompas à terre et après leur installation sur la FCS fut effectuée.

Nous avons étalonné les inclinomètres sur un support de théodolite préalablement mis à l'horizontale et nous avons noté les indications des deux inclinomètres.



2.3 — Sortie du Fjord

La route avait été défini à l'aide de "surveys" des fonds effectués au cours de précédentes opérations. L'Artémis était interfacé à bord avec un calculateur HP 85 et une table traçante HP 9272, cela permettait au capitaine d'avoir un suivi continu du trajet de la colonne.

Toutes les cinq minutes, nous contrôlions les résultats de l'Artémis avec les théodolites.

Nous obtenions des coordonnées identiques à quelques mètres près durant toute la sortie.

2.4 — Trajet fjord - champ

Nous empruntons la route de la torche de Frigg qui avait fait l'objet d'un survey bathymétrique lors des années précédentes. Nous avons une route d'une largeur d'un demi mile.

Le système principal de positionnement était le Pulse 8, en mode hyperbolique.

Nous utilisons la chaîne nord couvrant la Mer du Nord.

Les corrections C-O (calculées - observées) qui variaient le long du trajet nous étaient fournies d'après les cartes éditées par DECCA.

Pour contrôler le Pulse 8, nous avons un récepteur satellite de navigation JMR4. A chaque passage satellite, environ toutes les heures, nous contrôlions la position du système de radio-navigation.

Le Decca Main chain équipant le remorqueur nous servait de troisième contrôle moins précis que les deux précédents, en particulier, lors de la tombée de la nuit et du lever du jour, où nous avons relevé des variations de l'ordre de 500 m. Un calculateur et un traceur couplés au Pulse 8 nous permettaient de suivre à tout instant la route.

2.5 — Arrivée sur Frigg Nord-Est et mise en place

2.5.1 — Approche finale

Le système principal était l'acoustique et l'Artémis était utilisé comme système secondaire.

2 stations fixes étaient basées sur le complexe de Frigg. Comme deuxième système de positionnement nous disposions du Pulse 8.

En cas de défaillance du système acoustique nous devions positionner la colonne à l'aide de la radiolocalisation (Artémis, Pulse 8).

Nous allons maintenant expliciter la méthode acoustique utilisée pour cette mise en place.

2.5.2 — Mise en place de la colonne

Le mode direct avait été choisi pour cette installation. Ce mode est basé sur la mesure de distances entre un transducteur (interrogateur) et plusieurs transpondeurs (répondeurs) situés sur des points connus. Après corrections (réductions à l'horizontale, vitesse de propagation dans l'eau) ces distances sont calculées et nous déterminons la position relative du transducer par rapport au transpondeur.

Quatre transpondeurs utilisés comme point de référence avaient été placés sur le template (un à chaque coin) et un cinquième transpondeur se trouvait au fond de la mer à proximité du template. Ce dernier transpondeur augmentait la base de référence par la résolution du triangle qui passait de 16 m à 80 mètres avec cette balise supplémentaire.

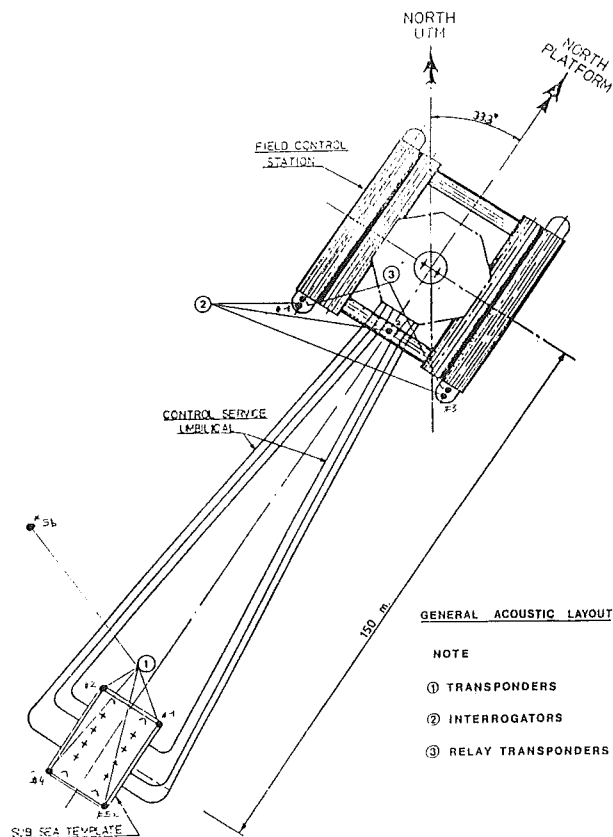
Sur la base de la colonne nous avons installé trois interrogateurs qui avaient été positionnés topographiquement par rapport au centre de la base.

Un logiciel spécial avait été développé pour déterminer en temps réel la position X, Y du centre de la base

de la FCS. Nous obtenions la distance restant à parcourir pour atteindre la cible ainsi que la rotation à effectuer à la colonne pour l'installer relativement au template.

En cas de pannes des interrogateurs, deux relais avaient été placés sur la colonne à proximité des interrogateurs primaire.

Ce système de remplacement ne fut pas utilisé.



2.5.3 — Préparation de l'opération - Calibration

Une telle opération nécessitait différentes phases d'installation et de calibration.

a — Installation des transpondeurs

Des supports spéciaux avaient été placés par des plongeurs à des positions précises aux quatre coins du template.

Un cinquième transpondeur avait été positionné à environ 70 m du coin Nord-Nord-Est du template.

b — Calibration relative du réseau

Cette opération avait pour objet de déterminer l'emplacement relatif de chaque transpondeur par rapport aux autres. En particulier, il nous était indispensable de connaître la position du transpondeur mouillé en pleine eau dans le réseau du template.

Le mode opératoire consistait à descendre un plongeur qui positionnait un interrogateur sur chaque transpondeur. Nous prenions une moyenne de 50 distances avec les autres transpondeurs.

Ainsi, après correction des distances en tenant compte de la vitesse de propagation dans l'eau nous obtenions un système relatif qui était prêt à recevoir les interrogateurs de la colonne.

c — Calibration absolue du réseau

Nous devons connaître le réseau dans le système de coordonnées UTM.

Un bateau équipé d'un Artémis nous donnait la position X, Y de l'interrogateur. Simultanément nous obtenions les distances avec les transpondeurs.

Nous effectuions différentes mesures en tournant autour du réseau et nous calculions les coordonnées X, Y de chaque balise acoustique.

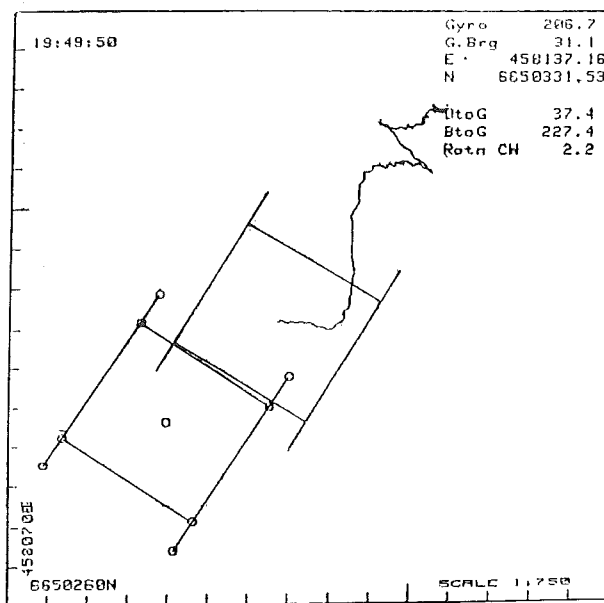
d — Vérification du "software"

Nous simulions dans le fjord l'arrivée sur le champ en plaçant deux transpondeurs sur un ponton immergé au fond du fjord, en face de la base de la FCS pour tester le bon fonctionnement du calculateur (HP 9826) et du software.

Des variations de mesures de distances de l'ordre de ± 10 cm furent constatées sur une base courte entre les transpondeurs. A partir de coordonnées relatives des interrogateurs nous déterminions alors les coordonnées relatives des répondeurs.

A partir des coordonnées relatives de deux points du ponton nous calculions à l'aide du software l'emplacement du centre de la base de la FCS.

Ces phases importantes d'installation et de vérifications du système acoustique étant terminées nous étions prêts à entreprendre la mise en place finale.



2.5.4 — Installation de la FCS sur la cible

a — Positionnement de surface

Nous utilisons l'Artémis avec deux stations fixes sur Frigg. La distance était de l'ordre de 15 km.

Le Pulse 8, très stable dans cette zone, nous servait de système de remplacement.

L'approche vers la cible se passait correctement avec des résultats similaires à l'Artémis et au Pulse 8.

b — Positionnement acoustique

Les premières mesures acoustiques furent obtenues à environ 800 m du template. A 500 m de la cible nous avions des informations régulières des cinq transpondeurs mais le positionnement précis à cette distance n'était pas encore réalisable.

Des positions correctes en X, Y du centre de la base furent obtenues sur l'écran à 300 m de la cible et le système acoustique devint alors le système principal de positionnement pour l'approche finale. Le déplacement fut stoppé lorsque la FCS se situa à environ 7 m de son emplacement final et la phase de ballastage commença.

Le déplacement final repris jusqu'à ce que la FCS se trouva à une distance d'environ 1 m de la cible et nous avions là une différence de 4° en orientation.

Les remorques qui conduisaient la FCS vers son point définitif nous ont permis de tourner la FCS pour obtenir une orientation correcte.

Une différence relative avec le template de 0,40 m en distance et de 0,50 m en orientation fut constatée.

2.5.5 — Résultats finaux

Les résultats définitifs de l'emplacement en coordonnées absolues de la colonne dérivent de la position du centre de la base de la colonne obtenue après une trentaine de mesures à l'Artémis et en appliquant les excen- trements dus à l'orientation et à l'inclinaison de la colonne.

L'orientation finale résulte de visées théodolites à partir du centre de l'hélicoptère sur deux points connus de Frigg. Nous avons ramené ces visées sur la ligne de foi de la colonne pour obtenir son gisement.

3 — Conclusion

Cette opération en Norvège employait différents systè-

mes de positionnement couramment utilisés en offshore pétrolier.

Les moyens utilisés sont fonction de la précision dési- rée.

Les systèmes de radiolocalisation sont usuellement mis en œuvre pour la navigation éloignée des côtes.

- Pulse 8, Hyperfix, Argo pour des distances de 200 à 500 km des côtes

- Syledis, Microfix, Motorola, etc... pour des distan- ces allant jusqu'à une centaine de kilomètres

- Artémis, Polarfix, etc... pour des distances de 1 à 20 km.

L'acoustique et les théodolites sont utilisés pour des positionnements précis.

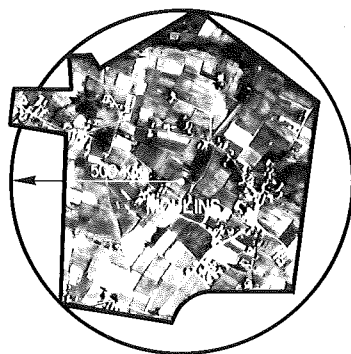
Le satellite en mode transit permet de contrôler les systèmes de navigation à longue distance et de déter- miner des points précis sur des structures fixes ou à terre.

Dans l'avenir, nous attendons de nouveaux dévelop- pements de la localisation par satellite en particulier le GPS-Navstar qui devrait nous permettre d'obtenir une bonne précision dans toutes les régions du monde.

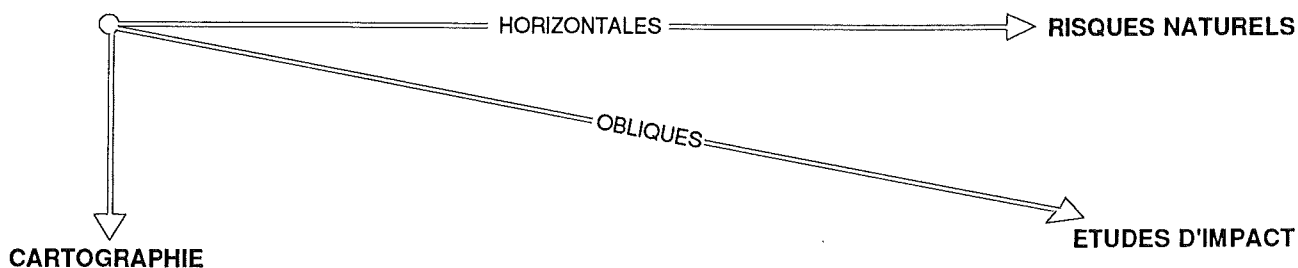
prises de vues aériennes

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

La bathymétrie et les aménagements portuaires

M. PAUL DDE Manche

La plupart des ports marchands importants et singulièrement les ports d'estuaire, entretiennent des équipes sédentaires d'hydrographes relativement importantes et structurées.

Les effectifs affectés à ce type de tâches sont, par exemple à Bordeaux, Rouen, ou Nantes de l'ordre d'une vingtaine de personnes.

On peut se demander ce qui justifie l'existence de telles équipes, et pourquoi il n'est pas de façon exclusive fait appel au frère aîné qu'est pour nous le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

Pour répondre à cela, il faut examiner précisément en quoi consistent ces besoins : on verra qu'ils sont assez particuliers. Particuliers aussi sont certains des procédés utilisés, comme certaines des voies de recherche, dont nous aborderons ensuite la description.

1 — LES BESOINS EN HYDROGRAPHIE PORTUAIRE

1.1 Exploitation des chenaux et des souilles - Questions de sécurité

Le besoin premier en matière de bathymétrie dans les ports est classique : il faut garantir la sécurité des mouvements des navires dans les chenaux qui conduisent aux installations portuaires et dans les souilles qui en permettent l'exploitation.

La particularité est ici la vitesse avec laquelle peuvent évoluer les fonds : les tempêtes ou les crues des fleuves peuvent déterminer en quelques marées l'apparition de masses considérables de sédiments obstruant les chenaux de façon parfois catastrophique.

Dans de nombreux estuaires à fonds sableux, le courant peut former de véritables dunes sous-marines, les ridens, capables de se déplacer rapidement vers l'aval.

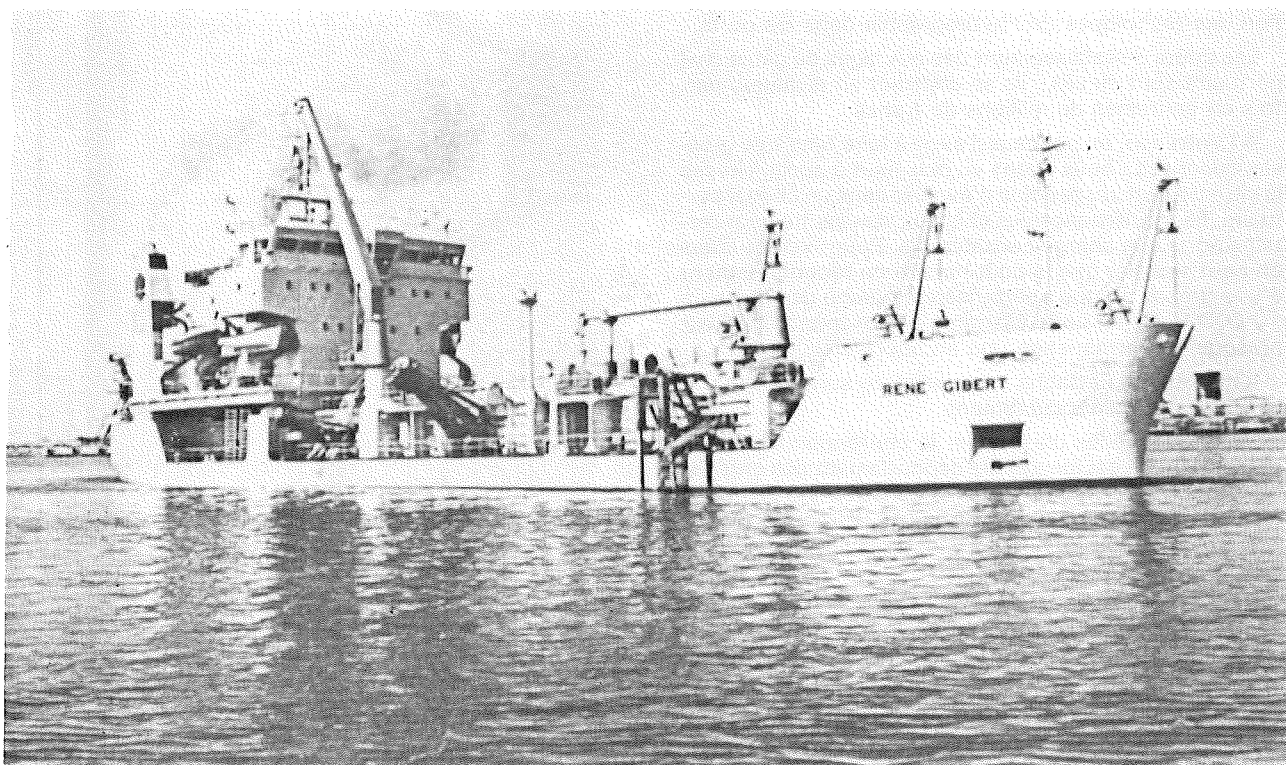
L'existence de ces phénomènes rend indispensable une surveillance mettant en œuvre les techniques de l'hydrographie proprement dite, mais se caractérisant par sa permanence.

1.2 La compréhension du milieu - Le cas des estuaires

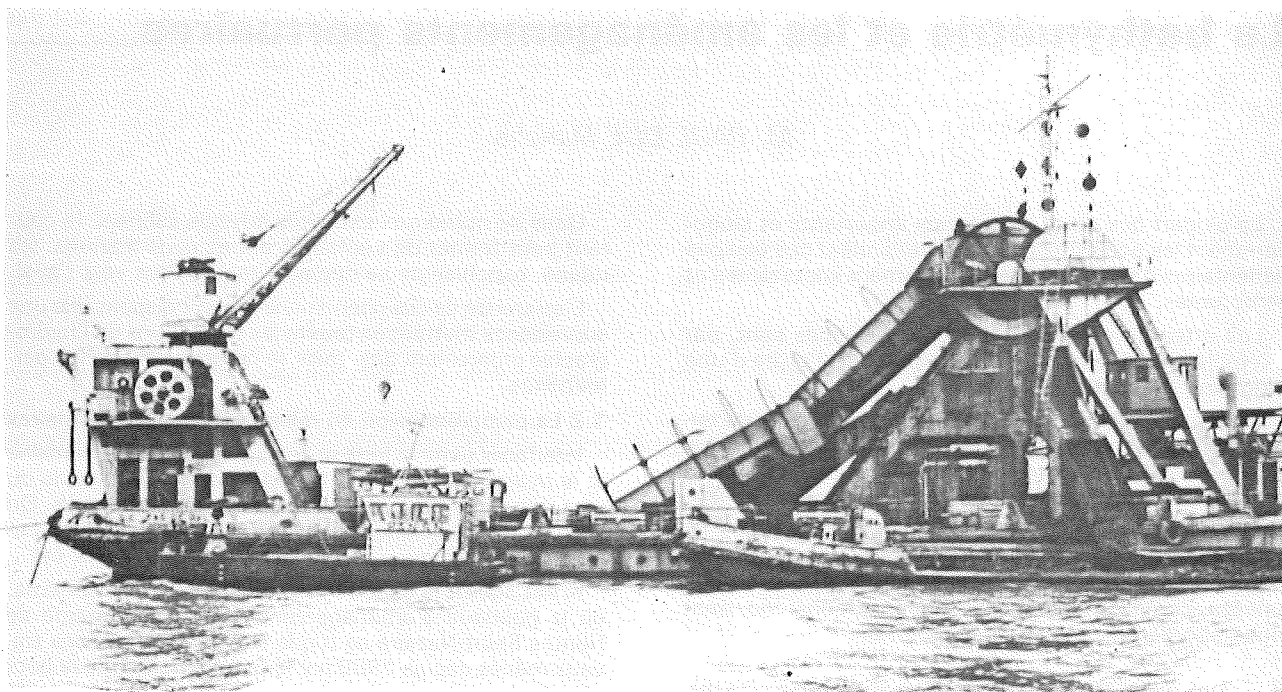
Interfaces entre la terre et l'eau, entre l'activité humaine et le milieu naturel, entre le danger du large et la vie du port, les estuaires sont des milieux bien complexes. On s'attache depuis longtemps à en comprendre les mécanismes hydrauliques, sédimentaires, biologiques etc...

A cet égard, je citerai l'exemple de la Loire Maritime, où la politique d'aménagement du Port Autonome de Nantes Saint-Nazaire se fonde sur les résultats des travaux menés depuis 1980 par le Comité Scientifique pour l'étude de l'estuaire de la Loire. Cet organisme, présidé par Monsieur l'Ingénieur Général de l'Armement Bourgoïn, Directeur du Service hydrographique et Océanographique de la Marine est constitué de personnalités scientifiques indépendantes de l'Etablissement (dont M. Migniot du L.C.H.F., M. Vigarie de l'Université de Nantes). Il a réalisé ces dernières années un très important programme d'études des phénomènes hydrauliques et sédimentologiques à l'aide de modèles physiques et numériques et de réflexions sur l'évolution et le devenir sur le milieu vivant.

Disposant de moyens nautiques, faisant métier d'acquérir et d'interpréter les paramètres directement utiles à la navigation, en particulier la marégraphie locale,



Drague aspiratrice en marche R. Gibert.



Drague à godets.

nos équipes "hydrographiques" ont pu apporter leur pierre à cet édifice, à l'occasion notamment des nombreuses campagnes de mesure in situ réalisées dans ce cadre.

1.3 La préparation et le suivi des travaux de génie civil maritime — Les dragages

La connaissance de la bathymétrie est évidemment indispensable à la construction des digues et des quais, au creusement des chenaux, à la surveillance de l'évolution des fondations des ouvrages d'art, etc...

Les progrès récents de l'électronique et de l'informatique ont donné une dimension nouvelle à cette utilisation des techniques de l'hydrographie dans les ports.

Les coûts d'établissement des ouvrages de génie civil portuaire sont élevés : ils se chiffrent en dizaines, parfois en centaines de millions de francs.

A l'entretien, on peut aussi avoir à faire face à de grosses dépenses : nous avons vu plus haut à quelle vitesse la situation est susceptible d'évoluer dans un chenal portuaire. La maintenance des chenaux représente pour certains ports une charge considérable. Pour fixer les idées on peut signaler que le coût horaire de fonctionnement d'une grosse drague opératrice en marche de l'ordre de 10 000 F. Or en Loire Maritime par exemple, il en est presque en permanence une en opération...

L'intérêt qui s'attache à la qualité du suivi de ces travaux apparaît alors clairement.

Par les procédés classiques, la confection d'un plan bathymétrique est longue : le dépouillement des enregistrements réalisés au sondeur, la construction des positions, l'écriture des minutes de sonde, le tracé des lignes isobathes, la mise au net des dessins et les vérifications diverses consomment du temps.

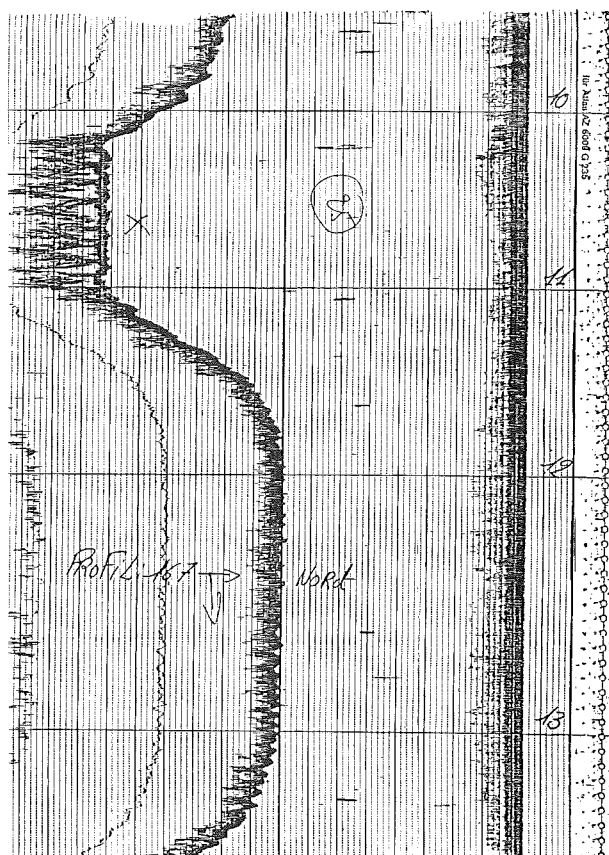
En fait par ces procédés, l'utilisation des techniques de l'hydrographie en génie civil maritime se limitait jusqu'ici à l'établissement de plans avant et après travaux.

Le suivi proprement dit des travaux de dragage se fondait sur l'examen d'enregistrements de sondeur, sans report des données sur plan.

Sans représentation précise de la morphologie des

fonds, ni évaluation des volumes à traiter ou au contraire en surprofondeur, il n'était pas possible d'optimiser véritablement la conduite de ces travaux.

Le recours aux technologies nouvelles permet l'exécution automatique des tâches de dépouillement, de calcul et de dessin, aux cadences de l'informatique : il est courant aujourd'hui, dans les services équipés, de pouvoir fournir aux patrons d'engins de dragage des plans



Enregistrement ultra-son sur canal ensasé.

décrivant la situation bathymétrique mesurée la veille. Ceci, joint aux possibilités de calcul numérique des volumes de sédiments à draguer, ou au contraire en surprofondeur, donne évidemment aux responsables des services de dragage des moyens puissants — et nouveaux — d'intervention sur le déroulement des travaux.

2 — LES PROCÉDES ET MÉTHODES

Nous ne chercherons pas ici à décrire de façon exhaustive les techniques utilisées en "hydrographie" portuaire : nous nous limiterons à un aperçu général, complété par quelques détails sur certains points spécifiques.

2.1 La localisation

"L'hydrographie" portuaire est une activité sédentaire. Les zones couvertes sont de faible ou moyenne étendue et les techniques de localisation sont adaptées à cette situation. Les systèmes radioélectriques les plus représentés sont des systèmes circulaires ou hyperboliques : on trouve dans les ports français principalement SYLEDIS, encore TORAN, quelquefois TRIDENT.

Soulignons que les moyens optiques, les théodolites essentiellement ont encore la faveur des services : ces instruments permettent en effet d'obtenir des précisions décimétriques, hors de portée des systèmes précédents, qui sont au surplus fréquemment perturbés à proximité des côtes et singulièrement des ouvrages tels que silos, quais, grues, qui constituent des obstacles à la propagation des ondes électromagnétiques.

Les théodolites numérisés, couplés à des télémètres laser, permettent de pallier ces difficultés tout en pouvant s'insérer dans des chaînes automatiques d'acquisition de données. Ils autorisent aussi le travail dans les zones dépourvues de systèmes de radiolocalisation. Je

renvoie pour plus de détails à l'article de M. Gaudilière (XYZ n° 26) en insistant sur l'intérêt que présentent ces dispositifs, à côté des systèmes radioélectriques à stations fixes. Pour fixer les idées signalons que pour un travail ordinaire de sondage, en Loire Maritime, les équipes comprennent en général :

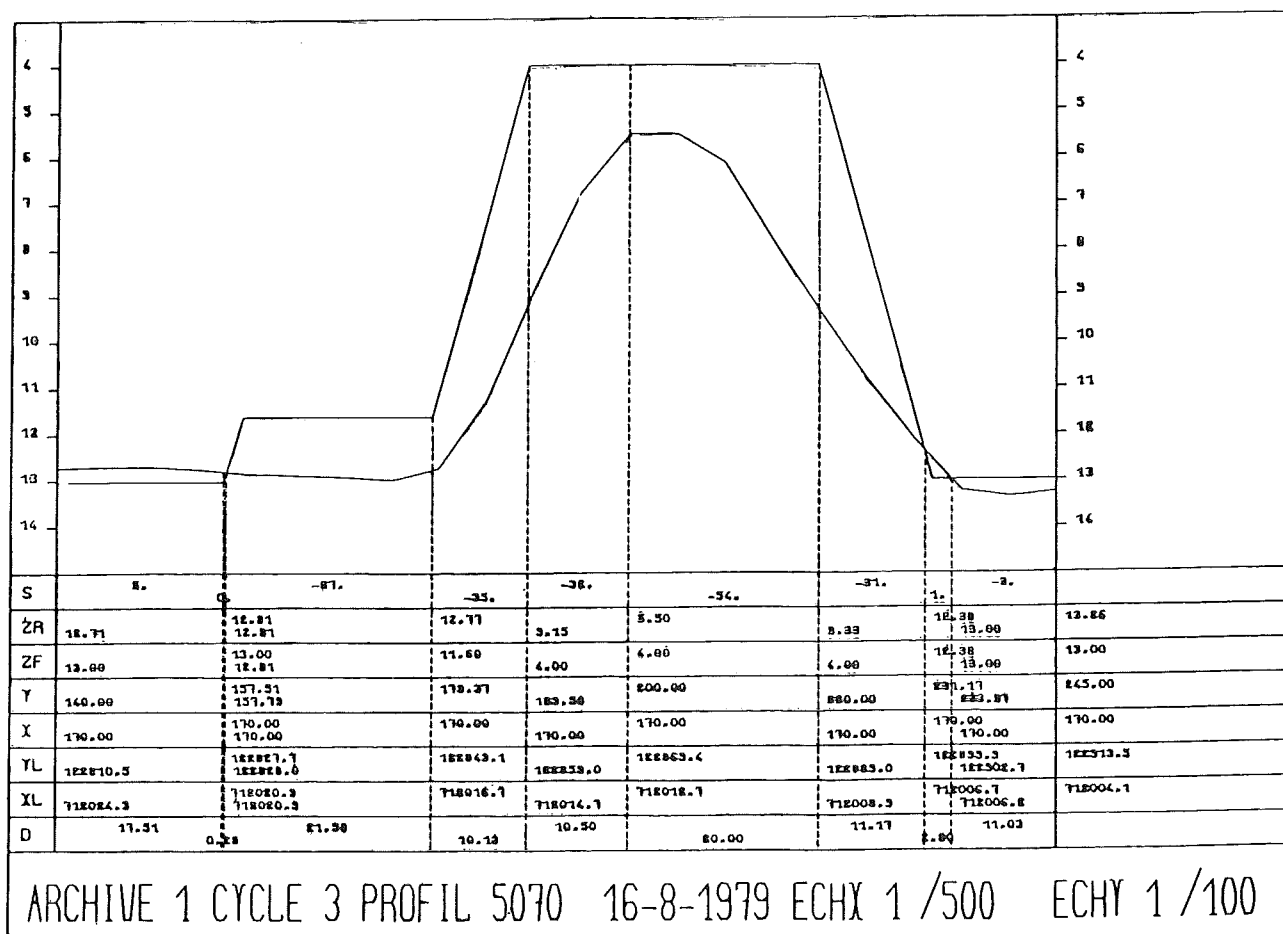
- 3 hommes lorsque l'on peut utiliser un système radioélectrique à stations fixes.
- 4 hommes lorsque l'on dispose d'un théodolite/télémètre laser avec acquisition automatique des sondes.
- 6 hommes au moins avec localisation optique et sans acquisition automatique de la bathymétrie.

2.2 La mesure des profondeurs

L'outil de base est en bathymétrie portuaire comme ailleurs, le sondeur à ultrasons.

Les mesures sont enregistrées soit sur papier soit sur support magnétique après numérisation. Signalons ici quelques déboires rencontrés avec ces dernières techniques : l'automate actuel n'est pas, comme l'hydrographe, capable de discriminer l'écho obtenu sur une souche flottant entre deux eaux, ou des bulles d'air, des fonds réels. Lorsque l'on travaille dans un but de garantie de sécurité, il est prudent de revenir aux enregistrements graphiques, que l'on peut, si l'on veut une restitution automatique, numériser à terre à l'aide d'un digitalisateur de courbes.

En suivi de dragages, je dirai, au risque de soulever l'indignation des vrais hydrographes, qu'il est des circonstances où il vaut mieux accepter un certain taux de sondes erronées que perdre deux jours à la production d'un plan. Le numériseur automatique des sondes est alors précieux.



Bathymétrie automatique - Profil en travers.

Un autre problème intéressant est celui des vases estuariennes.

Nous avons dit plus haut combien sont complexes les mécanismes de leur sédimentation.

Les matériaux fins transportés par les eaux peuvent en quelques heures, sous l'effet des courants et de la marée, se déposer pour constituer une eau noire, chargée de quelques dizaines de grammes de sédiments au litre. Cette formation porte le nom de "Crème de vase". Elle peut être détruite par courants, se déposer à nouveau, puis s'épaissir, prendre la consistance d'une pâte molle et évoluer vers une vase proprement dite. Au début de la sédimentation, la Crème de vase n'est pas dangereuse pour les navires. La difficulté est que l'écho sondeur ne permet pas forcément de discriminer ce qui est navigable de ce qui ne l'est pas.

D'autre part, le dragage de la Crème de vase est en général économiquement désastreux.

L'instrument encore utilisé en pareil cas est l'antique plomb de sonde. Mais l'appréciation du refus du plomb s'enfonçant dans la vase constitue tout un art, et on a cherché mieux : le Port Autonome de Bordeaux a développé un densimètre utilisant une technique ultra sonore. Le Laboratoire Central Hydraulique de France a cherché à développer un appareil capable de mesurer in situ la rigidité de la vase. En liaison avec le Service Central Technique des Ports Maritimes, le PANSN exploite depuis deux ans un densimètre radioactif mis au point par le CEA : une particule de Césium rayonne les photons gamma dans le massif vaseux à étudier.

La vase diffuse ces photons en raison croissante de sa densité. Un compteur de radioactivité mesure alors le rayonnement rétrodiffusé sur la sonde. Les résultats obtenus à l'aide de cet appareil sont progressivement, et en liaison étroite avec la Station de Pilotage, exploités opérationnellement pour définir les cotes navigables et décider de l'opportunité de certains dragages.

2.3 Les techniques de report

Je me bornerai à présenter rapidement les techniques modernes d'établissement des plans bathymétriques : il est je pense aisé pour des géomètres de transposer les développements homologues qu'ils connaissent dans leur spécialité.

Les fonctions des logiciels utilisés sont les suivantes :

- filtre de vraisemblance : nous avons vu que les systèmes automatiques, sur le terrain, prennent parfois en compte des données erronées. On peut en partie pallier ces défauts par des programmes analysant la vraisemblance des suites de données, par rapport à certains critères : valeurs extrêmes des sondes, continuité des routes suivies, pentes des fonds interprétés. Ces filtres sont paramétrables. Ils sont à utiliser avec prudence ;
- Transposition des coordonnées entre systèmes cartésiens, hyperboliques, etc...
- Réduction des sondes au zéro hydrographique. L'automatisation de la prise en compte de la marée peut être plus ou moins complète.
- Définition et archivage de la géométrie théorique des chenaux.
- Calcul des volumes existants entre une situation réelle des profondeurs et une géométrie théorique ou entre deux situations levées à des époques différentes préalablement archivées.
- Représentations sur plan des profondeurs avec ou sans tracé des lignes isobathes.
- Représentation en élévation des profils relevés.

Le logiciel généralement utilisé en France (DALI - Dessin automatique des Lignes Isobathes) a été développé

dans les années 1970 par le Service des Phares et Balises. Il existe sous différentes versions en Fortran IV (Sète) en Basic (Bordeaux, Bayonne, Dunkerque, La Réunion etc...) ou en Fortran VII (Nantes).

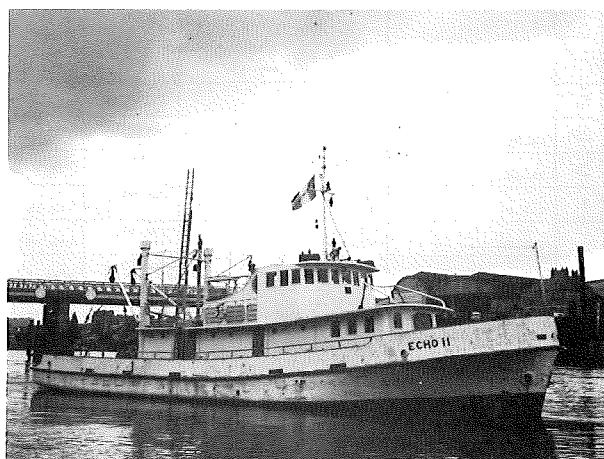
CONCLUSION

Au terme de ce hâtif survol, je souhaite souligner deux points :

— il existe à mi-chemin entre la "vraie" hydrographie et le génie civil portuaire, un domaine spécifique.

Il appartient à l'Ingénieur portuaire de rester attentif à l'évolution des techniques, et de savoir les adapter à ses besoins : il a encore bien des problèmes - passionnants à résoudre.

— Grande est la puissance des moyens dont nous disposons aujourd'hui dans ces spécialités : qu'elle ne fasse pas oublier le devoir de contrôle permanent de la représentabilité des données mesurées et des informations produites, ni la réalité du fleuve, de la marée, des navires, des marins et du port dont le bon fonctionnement est la finalité de nos efforts.



Vedettes hydrographiques.

Photographie et méthodes de lever du relief

L'exemple des Vallot dans le massif du Mont-Blanc

par Monique PELLETIER (Bibliothèque Nationale, Paris)

Le développement, au XIX^e siècle, de la cartographie des hautes montagnes n'alla pas sans difficultés : détermination des altitudes, lever des terrains en forte déclivité, expression du relief, posaient les principaux problèmes.

Dans la seconde moitié du XIX^e siècle, les photographies aidèrent à mieux exprimer le relief. La remarquable carte de la chaîne du Mont-Blanc, levée en 1863 et 1864 par l'Irlandais Anthony Adams Reilly, concurrent et ami des officiers de l'Etat Major français, s'appuya sur 200 points calculés à partir de 36 stations, et le relief

y était rendu grâce aux croquis et aux photographies de son auteur. A partir de minutes au 1 : 40 000, elle fut publiée en 1865 au 1 : 80 000. La carte du massif du Mont-Blanc du célèbre architecte Eugène Viollet-le-Duc (**Fig. 1**) est le résultat d'un travail mené sur le terrain de 1868 à 1875 ; destinée aux géologues, elle devait les aider par "l'exactitude du rendu topographique des terrains". En plus des dessins qu'il effectua lui-même, Viollet-le-Duc utilisa les cartes existantes, notamment la fameuse carte de l'Etat-Major, et les photographies d'Auguste-Rosalie Bisson et d'Aimé Civiale.

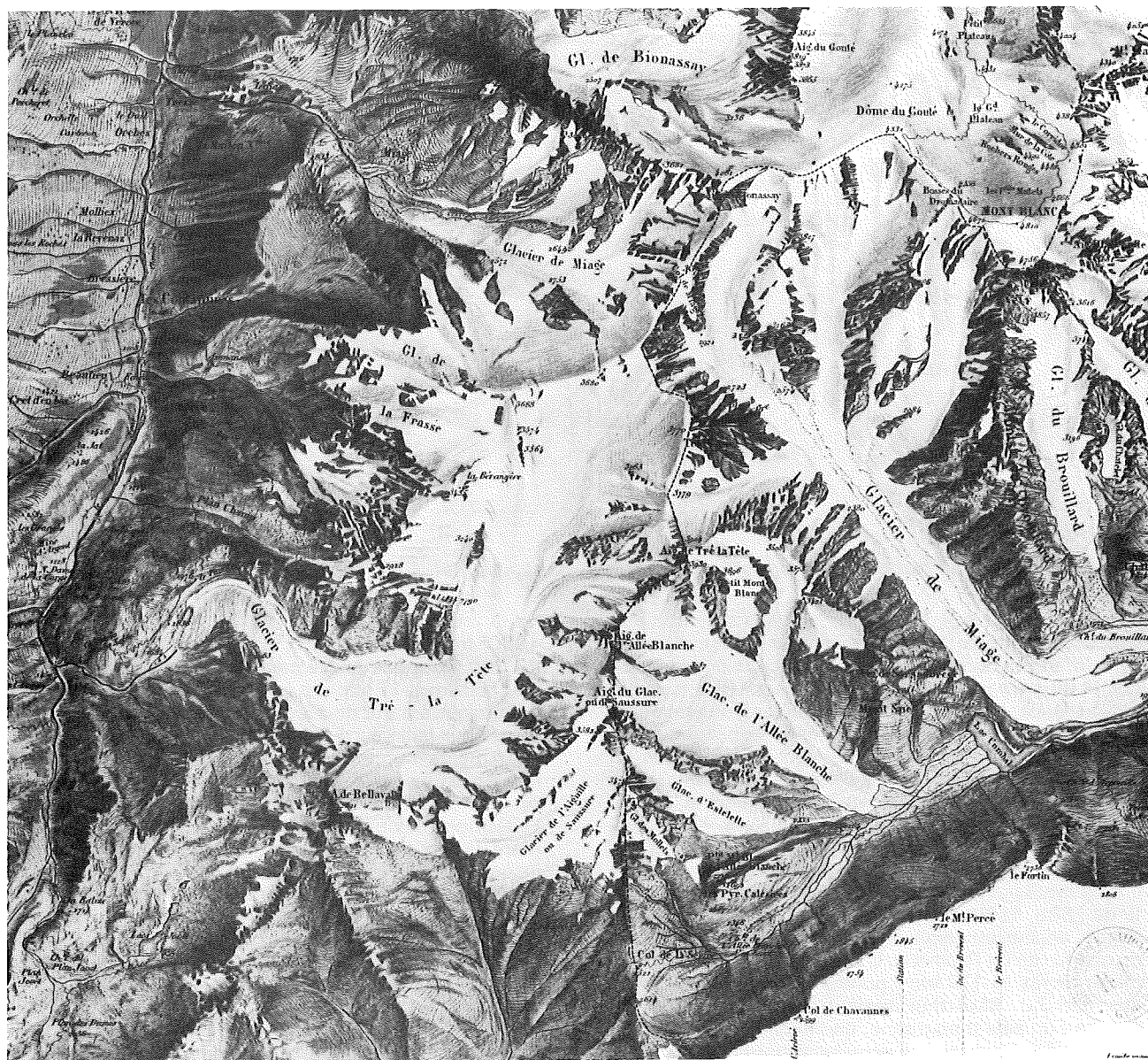


Fig. 1. Détail de la carte du Massif du Mont Blanc d'E. Viollet-le-Duc. 1 : 40 000. 1876.

Dès la fin du XIX^e siècle, les insuffisances de la carte de France au 1 : 80 000, dite carte de l'Etat-Major, pour les régions montagneuses frappent ses utilisateurs (savants, touristes ou alpinistes) devenus de plus en plus nombreux. On critique l'échelle, des hachures trop serrées qui rendent les feuilles bien noires, les insuffisances de la toponymie. Des améliorations sont apportées : édition corrigée en 1889, agrandissement au 1 : 50 000. En fait, ce sont des amateurs qui, dans les Pyrénées et dans les Alpes, en particulier dans le massif du Mont-Blanc, vont prendre le relais en attendant la réalisation

de la carte de France au 1 : 25 000. Pour le Mont-Blanc, cette dernière fut précédée par la publication, entre 1951 et 1959, d'une carte au 1 : 10 000. Toutefois, conscients des besoins des utilisateurs, les officiers de l'Etat-Major avaient admis la publication en 1865 d'une carte en couleurs du massif de Mont-Blanc au 1 : 40 000, réalisée à partir des minutes de la carte de l'Etat-Major complétées par la carte de Suisse au 1 : 100 000.

Les croquis panoramiques effectués par le colonel Aimé Laussedat au moyen de la chambre claire de Wollaston

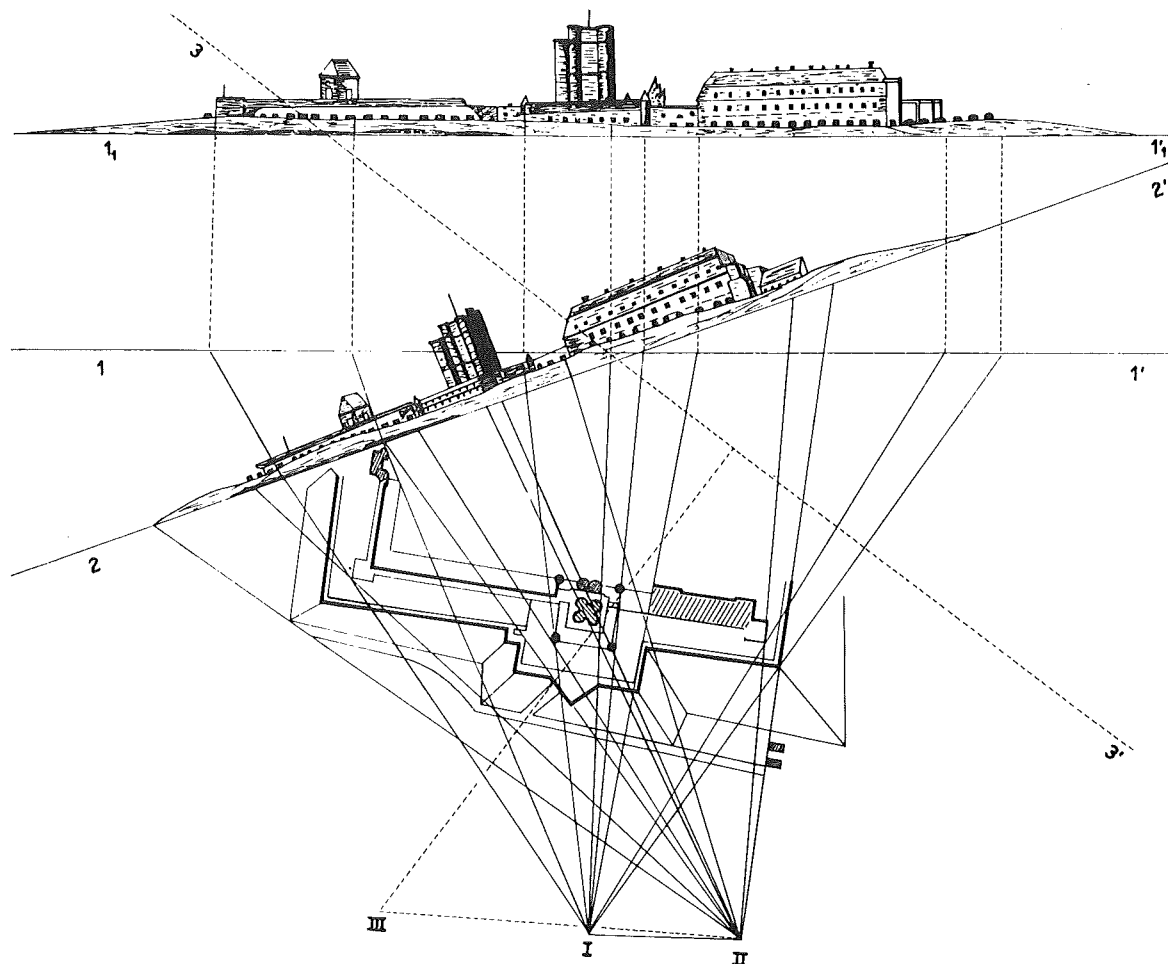


Fig. 2. Dessins à la chambre claire du fort de Vincennes, par Laussedat.

(Fig. 2) permettaient de déterminer, par intersection des côtés d'angles horizontaux et verticaux, la position des points du paysage et leur altitude. Vers 1852, Laussedat, assimilant le cliché photographique à une perspective, fit ses premiers essais en chambre obscure. Cette méthode, approuvée par l'Académie des sciences en 1859, fut d'abord utilisée par le comité des fortifications pour la reconnaissance des environs de Grenoble, puis jusqu'en 1870 pour des opérations dans les Alpes-Maritimes, dans les Alpes de Savoie et dans les Vosges. Vers cette date, le procédé pénétra en Allemagne, puis il fut adopté par le Service topographique italien. A partir de 1888, il servit pour des levés effectués au Canada dans la chaîne principale des montagnes rocheuses près du chemin de fer Pacifique. C'est ainsi que près de 2 000 milles carrés (5 177 km²) purent être couverts en cinq ans par J.J. McArthur assisté par une équipe très réduite : un aide topographe, un muletier et un manoeuvre. Une fois l'expérience acquise, ils purent lever 8 milles carrés (20 km²) par journée de travail. La carte (*Topographical survey of the Rocky mountains*, 20 feuilles,

1900) fut construite au 1 : 20 000 et imprimée au 1 : 40 000. Pour une feuille correspondant à 63 milles carrés (163 km²), 17 stations furent utilisées et 1 075 points déterminés à partir de 35 vues photographiques, soit 17 points par mille carré (2,58 km²).

Au même moment, deux hommes allaient commencer le lever d'une surface moindre, mais d'un des lieux les plus convoités par les alpinistes, le massif du Mont-Blanc. Le territoire à couvrir s'étendait entre la ligne faîtière formant la frontière Est de la France, du col de Balme jusqu'au col de la Seigne, d'une part, et la crête jalonnée par le Buet, le col d'Anterne et la tête du Colonney d'autre part, soit environ 530 km². Cousins germains, Henri (Fig. 3) (1853-1922) et Joseph (1854-1925) Vallois étaient issus d'une famille d'ingénieurs. Ils firent l'un et l'autre des études scientifiques. Henri entra à l'Ecole centrale, Joseph, passionné de botanique, très intéressé par la météorologie fut l'élève de la Sorbonne, du Muséum de l'Ecole normale supérieure. Leur première expérience topographique commune fut une triangulation et un lever dans le causse du Larzac. Ils accompli-



Fig. 3. Portrait d'Henri Vallot.

rent, en 1981, la première des 32 campagnes géodésiques qui servirent à l'établissement de la carte du Mont-Blanc, d'abord publiée, mais incomplètement au 1 : (Fig. 4) 20 000, de 1925 à 1940. L'œuvre entière des Vallot ne fut connue que grâce à la parution de la carte au 1 : 50 000 qui commença en 1935 avec la feuille Sud-Est.

Entreprise en 1892, la triangulation principale s'appuyait sur une base de 1 785 m ; elle comprenait 612 points et fut terminée en 1897. Les levés à la planchette et à la règle à éclimètre couvrirent 180 km² de terrain parcourable. Pour les zones à forte déclivité (350 km²), ils furent complétés par des restitutions photographiques d'après le procédé Laussedat. 3 500 clichés 13 × 18 furent pris à partir de 550 stations.

Pour mener à bien leurs travaux photographiques, les Vallot créèrent le phototachéomètre (**Fig. 5**), robuste et trapu, mieux adapté à la montagne que l'appareil de prise de vues Laussedat, "monument offert au vent des cimes". Le phototachéomètre comprenait un cercle répétiteur azimutal et son support métallique, une chambre noire à foyer fixe de forme trapézoïdale entièrement construite en aluminium et munie d'un télé-objectif permettant un grossissement de 2,5 ; un échémètre pouvait se substituer à la chambre noire pour répondre à tous les besoins des opérations topographiques. L'ensemble était transporté dans une caisse à trois compartiments. Avec le trépied, la mire pliante, la caisse, les courroies et le crochet du porteur, la charge était de 18 kg. 36 plaques étaient prévues pour une journée de travail : pendant la campagne de 1894, 400 clichés ont été pris, en 1895,

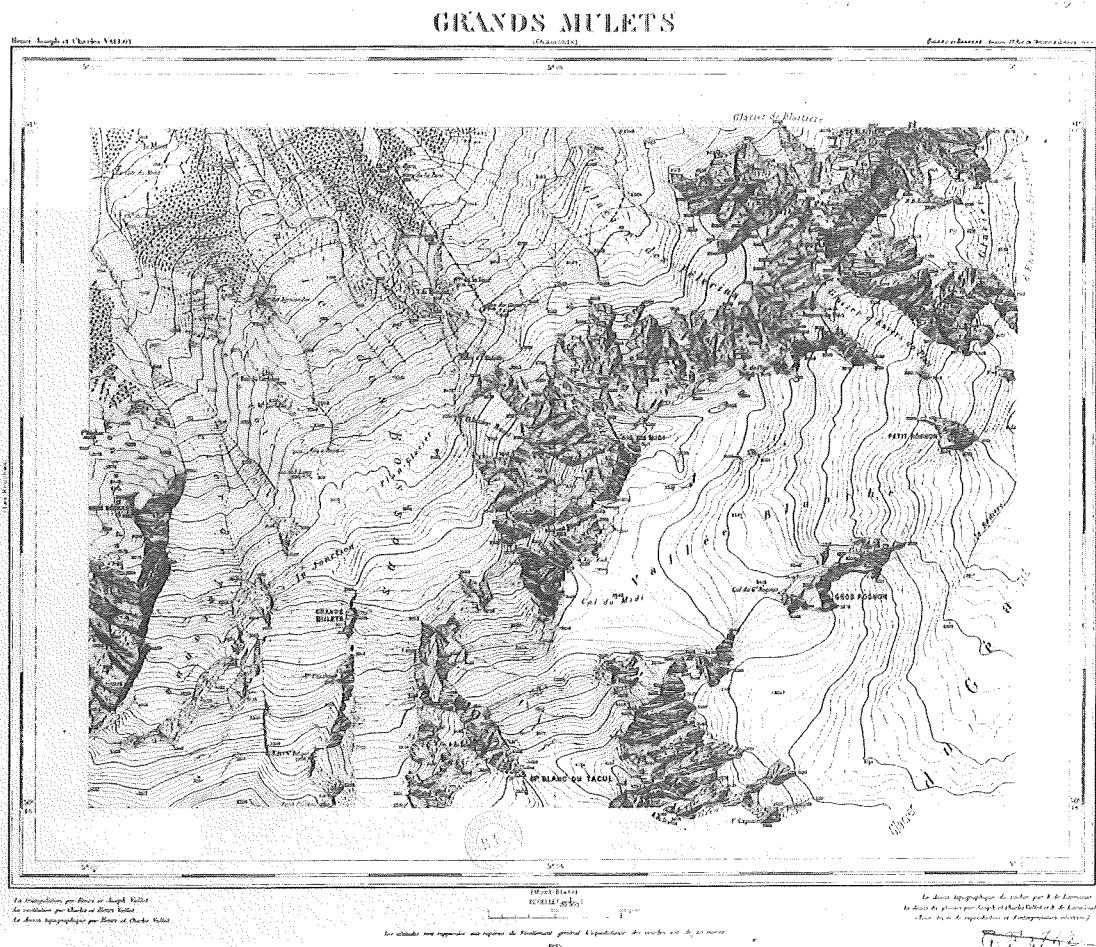


Fig. 4. Feuille des Grands Mulets de la Carte du massif du Mont-Blanc des Vallots. 1 : 20 000.



Fig. 5. Autour d'une carte réalisée pour l'étude du tracé du chemin de fer les Houches — Mont-Blanc, le phototachéomètre et les photographies utilisées pour la carte.

500, mais la saison de 1896 fut tellement pluvieuse qu'aucun travail topographique ne put être effectué sur les hauteurs.

La restitution, c'est-à-dire la reconstitution du plan et du nivellement du terrain à partir d'épreuves positives sur papier, se faisait d'après les procédés déjà mis au point en France par l'Armée. Les Vallot entendaient rester fidèles à l'esprit de la méthode graphique de Laussedat : "Sauf pour l'étude des constantes de l'appareil, nous avons banni l'emploi des calculs numériques et l'usage des instruments coûteux et compliqués qui sont plus ou moins en faveur à l'étranger, pour nous en tenir à celui de la règle à dessin, de la règle à calculs et de quelques bouts de carton". Ils rejoignaient ainsi les principes formulés dans l'ouvrage de Edouard-Gaston Deville, *Photographic surveying, including the elements of descriptive geometry and perspective* (Ottawa, 1895). Cet ancien officier de la marine française était devenu chef du Service Topographique Canadien. Malgré la rusticité des moyens mis en œuvre par les Vallot, la précision obtenue est remarquable grâce à une organisation du travail minutieuse. En principe, chaque opérateur était chargé de la représentation de la région que ses études et ses explorations sur le terrain lui avaient rendu familière. Par km², la densité des points restitués était de 75 à 100 pour le tracé des courbes et de 125 à 150 pour de dessin du rocher qui fut confié à Etienne de Larminat. 15 feuilles au 1 : 20 000 étaient prévues, 8 seulement furent publiées, couvrant 240 km² dans la région la plus difficile ; elles représentent le versant français du haut relief, depuis le col de Balme jusqu'au Mont-Blanc inclus.

Chaque point était identifié sur 3 images au moins (Fig. 6), en général sur 4 ou 5 ; l'abscisse et l'ordonnée étaient mesurées, à la loupe, par rapport aux deux axes de l'image avec une échelle en invar. La détermination des

points était faite graphiquement à l'échelle du 1 : 20 000. Ces opérations, auxquelles s'ajoutaient la recherche des lignes caractéristiques du terrain sur les photographies

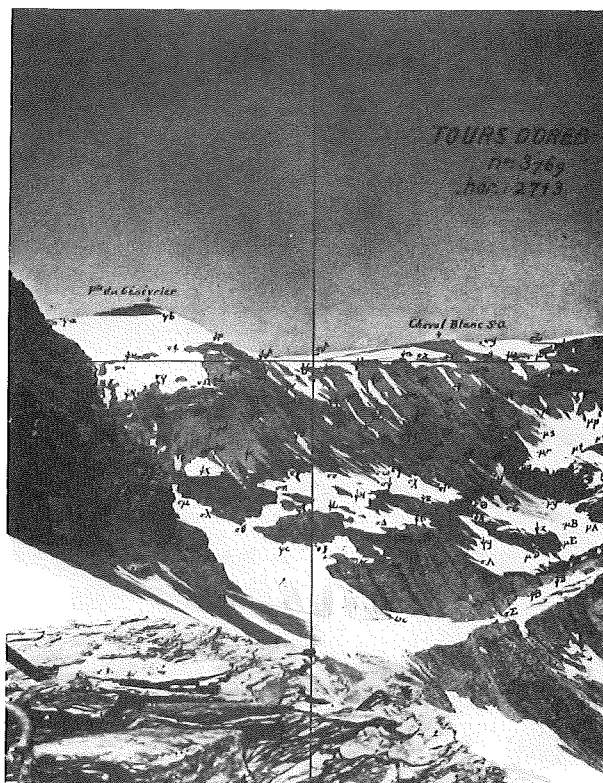


Fig. 6. Photographie utilisée pour la carte du Mont-Blanc.

et le calcul de l'altitude, exigeaient une observation ininterrompue à travers la loupe, une main toujours légère et précise, une attention soutenue. La définition de la position et de l'altitude d'un seul point résultait au minimum de 3 directions graphiques et de 18 lectures.

Au début, le partage des tâches était net : Henri Vallot était chargé des levés à la planchette et Joseph des levés photographiques. Ce dernier fut en outre le bailleur de fonds de toutes les opérations engagées. Dès 1907, Henri se fit aider par son fils, Charles (1884-1953). En fait, les deux techniques pouvaient être utilisées en même temps. Ainsi, en 1909, sur le glacier du Géant, Joseph Vallot alterna travail photographique et levé à la planchette ; les opérations de complètement sur le terrain, conséquences de l'insuffisance du procédé photographique dans certaines parties, devaient permettre d'achever la restitution photographique, à laquelle travaillait Henri Vallot, de tout le bassin du glacier du Géant, et du haut de la mer de Glace, soit une surface d'environ 40 km². Joseph continua d'opérer dans la même région en 1910 et en 1911. Les travaux photographiques prenant de plus en plus de retard, les Vallot durent faire appel à d'autres photographes. H. Vallot regretta le décalage qui s'était instauré entre les deux procédés, car, remarquait-il, "le départ entre le levé direct et le levé par intersection est assez facile lorsqu'on a entre les mains les épreuves photographiques". En fait, les deux procédés, s'ils avaient été mis en œuvre simultanément, auraient dû se prêter un mutuel appui. La surface des levés directs fut substantiellement augmentée : estimée au départ à 100 km², elle s'étendit sur 180. Joseph le déplorait en 1920 lorsqu'il écrivait à Henri : "j'estime que nos efforts si différents ont la même valeur totale. Oui l'œuvre a traîné, mais là tu as une grosse part de responsabilité. Je te l'ai déjà dit : tu as changé les idées primitives, tu as voulu faire trop bien. J'avais envisagé une carte par la photo, c'est-à-dire sans exactitude rigoureuse. Tu as voulu plus tard une exactitude aussi grande que celle des meilleurs topographes et cela dans les régions difficiles que constituent les glaciers. Cela se peut, mais c'est long et l'on vieillit ! et les forces disparaissent. Si j'avais su dès le commencement où tu voulais me mener je ne m'y serais pas engagé car je suis de ceux qui ne cherchent pas à péter plus haut que leur cul. A présent, il faut s'en tirer et faire le nécessaire pour terminer". En 1912, Charles Vallot abandonna le phototachéomètre pour un appareil photographique Gaumont qui travaillait au même format et avec le même objectif. Ce n'est que 10 ans plus tard, en 1922, que les opérations furent terminées sur le terrain. La lenteur de leur progression obligea les Vallot à effectuer des révisions pour mettre à jour les levés : chemins de fer, routes, chemins, sentiers, hôtels, constructions de toute nature, devaient être ajoutés. La révision permettait aussi de préciser certaines formes de détail, insuffisamment comprises ou trop généralisées.

Au départ, Henri Vallot avait eu beaucoup d'ambition, il aurait voulu que travaillassent simultanément dans les Alpes des topographes alpinistes qui auraient eu une mentalité scientifique commune ; d'où des notes, des articles, puis des manuels et des traités dans lesquels il donnait des conseils appropriés au terrain sur lequel il fallait évoluer. Henri voulait que de ces travaux sortît une œuvre entièrement nouvelle. Au sein de la Commission de topographie du Club alpin français dont il était secrétaire, il y eut quelque opposition ; certains pensaient qu'il suffirait de corriger la carte de France au 1 : 80 000. L'essai peu concluant, qui avait été fait pour la feuille de Briançon, donna raison à Henri Vallot. La Commission fixa donc l'objectif suivant : "dresser des cartes à grande échelle des hautes cimes à partir de la zone où la petitesse des échelles ordinaires rend les cartes des services publics inutiles à l'alpiniste". L'Armée, dont des représentants participèrent aux travaux de la commission

du Club alpin, demanda que les résultats des campagnes d'Helbronner dans les Alpes lui fussent communiqués ; la commission donna son approbation sur un plan plus général, matérialisant ainsi la complémentarité des travaux privés et publics.

Pour vulgariser les méthodes qu'il avait mises au point avec la plus grande rigueur, Henri Vallot publia une série de petits manuels (*Manuel de topographie alpine*, et, *Instructions pratiques pour l'exécution des triangulations complémentaires en haute montagne*, 1904 ; *Levés à la planchette en haute montagne*, 1909) parmi lesquels s'inséra, en 1907, *Les applications de la photographie aux levés topographiques en haute montagne*, traité auquel collabora Joseph Vallot. Ce solide manuel s'adresse aux phototopographes, c'est-à-dire aux topographes qui font usage de la photographie pour enregistrer les mesures du terrain. Le but, c'est la topographie, le moyen, la photographie ; d'où le terme de phototopographie déjà utilisé en France par Laussedat et aux Etats-Unis par Flemer. Les Vallot reconnaissent, toutefois, que l'audience serait réduite s'ils ne s'adressaient qu'aux topographes munis d'instruments de précision semblables aux leurs. Aussi, le manuel, tout en décrivant le phototachéomètre et ses utilisations, admet-il l'usage "d'appareils photographiques ordinaires convenablement appropriés". Les Vallot firent école. Citons deux exemples menés à bien dans les Alpes. D'abord celui du capitaine du Verger de Saint-Thomas qui, dans le massif des Sept Laux, leva la carte des aiguilles de l'Argentièr, couvrant une surface d'environ 12 km². Son travail fut publié au 1 : 20 000 dans *la Montagne*, revue du Club alpin français, en 1911. La carte y est précédée par une présentation des aiguilles et des voies d'accès ; le premier paragraphe s'adresse aux véritables amateurs : "Si, pour vos vacances prochaines, vous cherchez une villégiature alpine qui soit en même temps une station à la mode, ne suivez pas le chemin que nous nous proposons de vous tracer ici. Mais, si vous aimez la montagne pour elle-même, et si vous lui demandez ce qu'elle peut donner de plus beau, et qu'elle refuse aux foules : des sensations d'une délicatesse exquise dans une vie simple et libre, si vous aimez contempler au soleil couchant les jeux de lumière dans les rochers fissurés, et voir finir le jour sur les grands pâturages, alors que meurent les sonnaillles des troupeaux ; si vous ne recherchez pas la cohue des touristes, mais simplement l'impérissable beauté de la nature alpestre, allez passer quelque temps dans le massif de l'Argentièr, vous ne le regretterez pas assurément". Pour réaliser son œuvre cartographique, le capitaine du Verger utilisa principalement les perspectives photographiques : à partir de 20 stations, il prit 110 clichés dont une cinquantaine furent agrandis en 13 x 18, ce qui lui permit de restituer 350 points de détail déterminés par l'intersection de 3 directions ou plus.

Plus importante, l'œuvre de Robert Perret est mieux connue. Publiée en 1922, la *Carte de la vallée de Sales et du cirque des Fonts* est le résultat de 5 campagnes interrompues par la première guerre mondiale. Pour faire le portrait des escarpements, l'auteur a fait largement usage de l'intersection dans un plan vertical, qu'il a complétée par des photographies inclinées assimilables aux photographies d'avion, avec cette différence que la position de chaque station était connue avec précision, puisqu'elle coïncidait avec un sommet.

On ne peut parler de la photographie dans les Alpes sans évoquer l'étrange et puissante personnalité de Paul Helbronner, auteur de la *Description géométrique détaillée des Alpes françaises* en 12 volumes de calculs, publiés de 1910 à 1938, pour la triangulation de la région qui s'étend du Léman à la Méditerranée. De 1902 à 1928, 66 mois de travail permirent à Helbronner de couvrir 18 500 km² par des observations au théodolite effectuées à partir de 1818 stations, dont 72 au-dessus de 2 000 m, et de prendre près de 15 500 clichés photo-

graphiques : panoramas qu'il fit graver et insérer à la fin des volumes de la **Description**, ou documentation qui lui servait, par exemple, à évaluer l'évolution de l'enneigement.

La topographie officielle avait donc laissé aux Vallot le soin de renouveler la méthode photogrammétrique créée par Laussedat et tombée bientôt dans l'oubli. La première guerre mondiale donna l'occasion aux militaires de prêter leurs moyens à une méthode nouvelle de lever topographique. C'est ainsi qu'Etienne de Larminat, chef des services topographiques de l'armée d'Orient, put expérimenter les levés aériens. En tant que directeur de la Société générale d'études et de travaux topographiques qui opéra principalement hors de France, il poursuivit ces essais pour mettre au point la nouvelle méthode. Si les Vallot ne l'utilisèrent pas, les militaires n'en virent pas non plus l'intérêt pour les opérations en haute montagne, lui préférant les photographies terrestres. En 1929, Larminat rendait compte dans **la Montagne** des travaux d'Alphonse Meillon dans la région pyrénéenne du Vignemale. Grâce aux photos aériennes, surtout verticales, on avait pu assurer la liaison entre les photos émanant des différents observatoires terrestres et combler ainsi les lacunes de cette documentation. En outre, la photographie aérienne avait puissamment aidé à rendre compte des formes du relief.

Tandis que les Vallot publient les résultats de leurs travaux, l'utilisation de la photographie aérienne en haute montagne fait donc de lents progrès ; elle en est encore au stade expérimental. Dans le **Journal des géomètres-experts et topographes français** de 1935, on peut lire : "La prise de vues terrestres est évidemment une opération complexe et seuls des techniciens entraînés, spécialistes à la fois de la géodésie, de la photographie et l'auto-restitution, sont susceptibles d'obtenir de bons résultats. D'autre part... son champ d'application est forcément limité. Enfin, les missions sont longues, pénibles et onéreuses. Il est quand même un argument primordial qui compte en sa faveur : je veux parler du facteur précision dont l'indice est bien supérieur à celui correspondant aux levés par avion. Dans un autre ordre d'idées, il faut bien se dire que l'aviation n'est pas encore à la portée de tout le monde, que les missions aéro-photographiques ne se justifient qu'à partir d'un minimum de surface. Enfin, dans l'état actuel des choses, la restitution d'un couple de photographies aériennes est bien plus onéreuse que celle d'un couple de photographies terrestres. Pour ces raisons, il semble regrettable que la tendance de la construction française en matière de photogrammétrie s'écarte du photothéodolite dont les applications dans la petite entreprise et, plus tard, chez le géomètre privé pourraient devenir très nombreuses".

Depuis 1911, dans les massifs les plus élevés, le Service géographique de l'Armée utilisait la stéréophotogrammétrie terrestre, mise au point en Allemagne, procédé que le Club alpin français jugeait moins coûteux, mais d'une précision moins grande que le procédé photographique par intersection Laussedat-Javary-Vallot. C'est en 1920 que Georges Poivilliers proposa au même service des méthodes et projets d'instruments capables d'effectuer une restitution complète, de tracer la carte en partant de couples de photographies aériennes. Le stéréotopographe Poivilliers fut construit à Paris par la Société d'optique et de mécanique de haute précision ; il put servir en 1933 à la restitution au 1 : 40 000 d'un lever aérien effectué dans la région d'Apt. Excellents, mais rares et coûteux, les stéréotopographes n'étaient utilisés que par les services officiels où on ne leur confiait qu'une toute petite partie des levés photographiques. Les progrès ultérieurs de la photogrammétrie furent liés à l'amélioration de la qualité des objectifs et des émulsions photographiques, à la précision des vols en direction et en altitude, au perfectionnement des appareils de restitution.

Bibliographie

CLUB ALPIN FRANÇAIS. L'œuvre scientifique du Club alpin français (1874-1922). Paris, 1936.

E. DEVILLE. Lever topographique des montagnes Rocheuses exécuté par la photographie. In : Transactions of the Royal Society of Canada, Section III, 1893, p. 13-15.

E. GAILLARD et R. DU VERGER. Les aiguilles de l'Argentière. In : La montagne, 20 juillet 1911.

Henri Vallot (1853-1922). Versailles, s.d.

E. DE LARMINAT. Emploi des photographies aériennes dans la carte du Vignemale. Cf. L'œuvre scientifique du Club alpin français, p. 451-463.

A. LAUSSEDT. Note sur la construction des plans, d'après les vues du terrain obtenues de stations aériennes. Paris, 1890.

A. LAUSSEDT. Sur les progrès de l'art de lever les plans à l'aide de la photographie, en Europe et en Amérique. Paris, 1893.

R. MARTIN. Coup d'œil d'ensemble sur la photogrammétrie aérienne et terrestre. In : Journal des géomètres-experts et topographes français, n° 180, octobre 1935.

Note sur le "stéréotopographe" Poivilliers. In : Association française pour l'avancement des sciences, congrès du Havre, 25-30 juillet 1929.

R. PERRET. Historique de l'ancienne "Commission de topographie" du "Club alpin français", sa réorganisation en 1923. Cf. L'œuvre scientifique du Club alpin français, p. 132-150.

R. PERRET. La topographie privée en France. In : Le correspondant, 10 novembre 1922.

Le Service géographique de l'Armée, son histoire, son organisation, ses travaux. Paris, 1938.

CH. VALLOT. Un portrait du Mont-Blanc. In : La montagne, avril 1939, p. 97-104.

Ch. VALLOT. Sur la carte du massif du Mont-Blanc établie à l'échelle du 20 000^e par Henri, Joseph et Charles Vallot. In : Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, 25 novembre 1935, p. 1 017-1 018.

H. VALLOT. Etat d'avancement des opérations de la carte du massif du Mont-Blanc à l'échelle du 20 000^e. In : Annales de l'observatoire du Mont-Blanc, t. II, 1986, p. 251-255.

H. VALLOT. Levés à la planchette en haute montagne. Paris, 1909.

H. VALLOT. Manuel de topographie alpine. Paris, 1904.

H. et J. VALLOT. Applications de la photographie aux levés photographiques en haute montagne. Paris, 1907.

H. et J. VALLOT. Réseau trigonométrique du massif du Mont-Blanc. Paris, 1924.

J. et H. VALLOT. Application de la photographie aux levés de détail de la carte du massif du Mont-Blanc à l'échelle du 20 000^e. In : Annales de l'observatoire du Mont-Blanc, t. II, 1896, p. 213-249.

R. VIVIAN. L'épopée Vallot au Mont-Blanc. Paris, 1986.

Sur l'évolution de la cartographie du massif du Mont-Blanc, voir : images de la montagne, de l'artiste cartographe à l'ordinateur, exposition organisée par la Bibliothèque nationale avec le concours de l'Institut géographique national, catalogue et essais. Paris, 1984.

LA VIE DE L'ASSOCIATION

L'AFT a un nouveau Président



Le Président Vincent ayant demandé, pour raisons personnelles, à être déchargé de la présidence de l'Association après 5 ans de présidence et donc au milieu de son 3^e mandat de 2 ans, le renouvellement partiel du Bureau a été nécessaire.

Le Conseil de l'Association s'est donc réuni à l'issue de l'Assemblée Générale le 10 décembre 1986 à 11 h 30 pour procéder à l'élection de son nouveau Président.

Ont voté les membres présents des 18 membres nationaux dont les 6 nouveaux élus et les Présidents Régionaux présents.

M. Roger Schaffner, un des fondateurs de l'AFT, a été élu Président à l'unanimité.

M. Roger Schaffner était Vice-Président depuis la fondation de l'Association en 1978.

Il a donc été procédé à un 2^e vote pour pourvoir à son remplacement en tant que Vice-Président.

M. Raymond d'Hollander a été élu Vice-Président à l'unanimité des présents.

Le Bureau de l'Association est donc dorénavant composé ainsi :

Président : Roger Schaffner

Vice-Présidents : Raymond d'Hollander, Maurice Daugé, Jacques Fuhrer

Secrétaire Général : Jean Combe

Secrétaire Général Adjoint : Edmond Barbacanne

Trésorier : André Memier

Directeur des Publications : André Bailly

Directeur Adjoint des Publications : Jean Puycouyol

Compte rendu de séance de l'Assemblée Générale du 10 décembre 1986

L'Assemblée Générale de l'Association s'est réunie le 10 décembre 1986 à 9 h 30 à l'Ecole Nationale des Sciences Géographiques (Salle Robert Genot), 2, avenue Pasteur à Saint-Mandé, sur convocation du Président et avec l'ordre du jour suivant :

- ouverture de l'Assemblée Générale par le Président ;
- compte rendu de l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986 ;
- nomination de deux vérificateurs aux comptes ;
- nomination d'un Président du Bureau de vote et de deux scrutateurs pour le dépouillement des votes à l'élection des membres du Conseil ;
- vote pour l'élection de membres nationaux supplémentaires au Conseil de l'Association ;
- rapport moral par le Secrétaire Général ;
- rapport financier par le Trésorier ;
- fixation du montant des cotisations pour 1987 et 1988 ;
- membre d'honneur ;
- questions diverses ;
- résultats du vote ;
- clôture de l'Assemblée Générale.

Le Président ouvre la séance et fait part de l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986 dont on lira le compte rendu par ailleurs.

Deux vérificateurs aux comptes sont nommés par l'Assemblée Générale :

- M. Jean Puycouyol, AFT n° 12
- M. Pierre Paulau, AFT n° 23

Le bureau de vote est constitué :

- M. Pierre de Fontguyon, AFT n° 189, Président
- M. Albert Guirand, AFT n° 240, Scrutateur
- M. Lucien Lapointe, AFT n° 190, Scrutateur

Vote pour l'élection des membres nationaux supplémentaires au conseil

Conformément à l'article 14 des statuts modifié par décision de l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986, les candidatures ont été sollicitées par avis paru dans la revue XYZ n° 26, page 43 :

Six candidatures ont été déposées avant le 31 octobre 1986. Elles sont les suivantes :

- André Bailly, AFT n° 15, Ingénieur Gaz de France.
- Jean Bourgoïn, AFT n° 297, Directeur du SHOM.
- Jean-Pierre Falez, AFT n° 443, Directeur Société Topo Nord.
- Michel Mayoud, AFT n° 271, Ingénieur Cern-Genève.
- Pierre Second, AFT n° 18, Chargé d'Etudes DDE des Bouches-du-Rhône.
- Jacques Tassou, AFT n° 1147, Géomètre-Expert Nanterre.

Les votes sont les suivants :

Votants : 279
Exprimés : 278
Bulletin nul : 1
Majorité : 140

Ont obtenu : MM. Bailly 249 voix, Bourgoïn 249 voix, Falez 237 voix, Mayoud 259 voix, Second 249 voix, Tassou 251 voix.

Ces six personnes sont déclarées élues, par le Président, membres nationaux du Conseil et sont félicitées pour leur élection.

Rapport moral

En l'absence du Secrétaire Général retenu pour raisons professionnelles, le Secrétaire Général Adjoint donne lecture du rapport moral qu'on lira par ailleurs.

Après explications, ce rapport est adopté à l'unanimité.

Rapport financier

En l'absence du Trésorier retenu pour raisons professionnelles, le Président présente le rapport financier pour l'exercice du 1^{er} octobre 1985 au 30 septembre 1986.

Les recettes s'élèvent à 372 747,55 F et les dépenses à 372 606,87 F après provisions de 6 000 F, pour dotation 1986 aux Régions.

La situation financière qui était de 39 415,71 F à l'issue de l'exercice précédent le 30 septembre 1985, se trouve portée avec l'excédent des recettes de l'exercice de 140,70 F à la somme de 39 556,41 F au 30 septembre 1986.

Après explications et sur proposition des vérificateurs aux comptes, le rapport financier est approuvé à l'unanimité.

Cotisations 1987 et 1988

pour 1987 :

Catégorie	Cotisation	Adhésion
— Ingénieur, géomètre-expert, cadre indépendant, personne morale	330 F	50 F
— Technicien, agent de maîtrise retraité cadre ou ingénieur	200 F	30 F
— Etudiant, stagiaire, service national, retraité technicien et agent de maîtrise	145 F	10 F

tarifs adoptés à l'unanimité.

pour 1988 :

Catégorie	Cotisation	Adhésion
— Ingénieur, géomètre-expert, cadre indépendant, personne morale	340 F	50 F
— Technicien, agent de maîtrise retraité cadre ou ingénieur	210 F	30 F
— Etudiant, stagiaire, service national, retraité technicien et agent de maîtrise	150 F	10 F

tarifs approuvés à l'unanimité moins 1 voix (abstention).

Membres d'honneur

Sur proposition du Conseil de l'Association, l'Assemblée Générale a nommé membre d'honneur de l'Association, M. Haroun Tazieff, l'éminent scientifique qui a présidé notre dernier Colloque de Grenoble en avril 1986.

Compte rendu de séance de l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986

Une Assemblée Générale Extraordinaire a été réunie en 2^e convocation le 29 octobre 1986 à Cachan à 18 h dans les locaux de l'Ecole Spéciale des Travaux Publics, sur l'ordre du jour :

— Modification de l'Article 14 des statuts.

Une Assemblée Générale Extraordinaire avait été convoquée une première fois le 25 avril 1986 à Grenoble sur le même ordre du jour mais n'avait pas réuni le quorum nécessaire.

Sur proposition du Conseil le 2^e alinéa de l'article 14 des statuts :

"12 membres au plus sont élus au titre de membres nationaux par l'Assemblée Générale"

est modifié comme suit :

"18 membres au plus sont élus au titre de membres nationaux par l'Assemblée Générale"

Cette proposition est approuvée à l'unanimité de l'Assemblée Générale Extraordinaire.

Rapport moral

par le Secrétaire Général

J'ai l'honneur et le plaisir de vous présenter, à l'issue de notre 8^e année d'existence, le rapport moral de notre Association.

Nous allons passer en revue les principaux événements de l'année écoulée.

1 — Administration

L'administration de l'Association a continué sur sa lancée cette année. Quelques modifications de détail tout au plus parmi lesquelles on peut citer la location d'une machine à affranchir le courrier.

2 — Adhésion

Le parcours de notre Association est tracé dans les quelques chiffres du tableau suivant :

Année	Adhésions	Décès Démissions Radiations	Reste
1979	486		
1980	730		
1981	865	51	814
1982	953	104	849
1983	1 046	121	925
1984	1 115 (25/11)	199	914
1985	1 182 (07/11)	235	947
1986	1 236 (30/10)	295	941

Le rythme annuel des adhésions est en constant fléchissement : 54 cette année contre 67, 69, 93, 88 en remontant dans les exercices antérieurs. Par contre, celui des départs par décès, démissions et radiations ne faiblit pas : 60 cette année contre 47 en moyenne les années précédentes. Il s'ensuit un plafonnement des effectifs.

Il apparaît indispensable de faire un effort de recrutement au plan national et au plan régional.

Nous nous inclinons devant les décès de 5 de nos adhérents : M. Charles Reinold (n° 732), M. Claude Garnery (n° 493), M. Alain Delaire (n° 1111), M. Gilbert Bazillon (n° 455) et M. Jean-François Marty (n° 1077).

3 — Assemblée Générale

Une Assemblée Générale Extraordinaire, convoquée une première fois le 25 avril 1986 à Grenoble, pour modifier les statuts, n'a pu réunir le quorum nécessaire. Sur 2^e convocation, le 29 octobre 1986 à Cachan il a été décidé de modifier l'article 14 des Statuts pour pouvoir porter le nombre des membres nationaux du conseil de l'Association de 12 à 18. Cette Assemblée s'est prononcée à l'unanimité sur cette modification.

4 — Conseils

Le Conseil de l'Association s'est réuni 5 fois cette année :

n° 36 a : 22 novembre 1985
n° 36 b : 19 décembre 1985
n° 37 : 12 mars 1986
n° 38 : 26 juin 1986
n° 39 : 1^{er} octobre 1986

Au cours du Conseil n° 36, le Bureau a été renouvelé.

Au cours de la réunion n° 39, le Conseil a décidé, au cas où l'Assemblée Générale Extraordinaire du 29 octobre 1986 modifierait les statuts, d'user de cette disposition nouvelle pour porter le nombre des membres nationaux du Conseil de 12 à 18. Pour cette raison un vote est organisé aujourd'hui pour élire 6 nouveaux membres.

5 — Publications

M. Jean Puycouyol qui fut responsable des publications depuis la création de l'Association, quittant la région parisienne, a demandé à être remplacé. C'est M. André Bailly qui assure depuis le début de 1986 la charge de Directeur des Publications.

Pour essayer d'augmenter le volume de la publicité dans les pages de la Revue XYZ, un contrat a été signé avec la Société Publiclair, laquelle peut prospecter en dehors des annonceurs fidèles qui restent ainsi des clients directs de l'Association.

La Revue XYZ est parue régulièrement (4 numéros) et le retard à la parution tend à se résorber.

Le FIL est paru : n° 11 en septembre 1985, n° 12 en mars 1986 et n° 13 en septembre 1986.

6 — Commissions

La Commission de l'Enseignement a proposé en mars 1986 un système des symboles cohérents en topographie. Cette Commission s'est réunie le 18 décembre 1985 et le 16 avril 1986, et a, en outre dans ses activités, le souci d'exprimer les souhaits de notre profession en matière d'Enseignement auprès de M. de Preester.

Cette commission s'est donnée pour tâche d'élaborer un dictionnaire des termes utilisés en topographie. M. d'Hollander a élaboré un millier de fiches à cet effet. Une saisie informatique est prévue.

7 — Manifestations et Colloques nationaux

Au cours de l'exercice nous avons tenu notre 13^e Colloque les 25 et 26 avril. Il a été présidé par M. Haroun Tazieff. Il a réuni 125 participants et l'exposition 10 exposants.

Une journée de Rencontre a eu lieu le 29 octobre à Cachan à l'Ecole Spéciale des Travaux Publics ; là aussi, nous avons compté 125 participants et 15 exposants.

Pour les années à venir, votre Conseil a retenu trois nouveaux thèmes de Colloque :

- le Cadastre
- la Topographie en géophysique
- la Topométrie souterraine

Les membres de l'Association souhaitant prendre une part active à l'organisation de ces colloques sont invités à se faire connaître au Siège de l'AFT.

Participation au Congrès de la FIG à Toronto

M. Memier, notre Trésorier, a été mandaté pour représenter notre Association auprès des instances dirigeantes de la FIG.

Une abondante documentation sur l'Association et en particulier la Revue XYZ a été diffusée.

Un sommaire en anglais dans chaque numéro de la Revue serait apprécié des lecteurs étrangers.

M. Toutin, en tant que membre de l'AFT, a présenté une communication sur le thème : "Etude mathématique pour la rectification des Images Spot". Cette conférence sera publiée dans la Revue.

8 — Formation continue

L'AFT a organisé un stage de formation à la demande de la Société SODETEG — KOUROU du 6 au 8 août 1986 sur le thème de la Topométrie Industrielle, à l'occasion du séjour en France d'un ingénieur et un technicien du Centre de Kourou.

Un deuxième stage a été prévu à la demande du Centre de Formation des Personnels Communaux à Paris sur le thème : "la Photogrammétrie en milieu urbain". Ce stage a été reporté à l'année prochaine.

9 — Forum international de l'instrumentation et de l'information géographique

Ce Forum se tiendra du 10 au 13 juin 1987 au Palais des Congrès à Lyon. Tous les adhérents de l'AFT en ont déjà été informés par les 2 plaquettes éditées à ce sujet.

Pour l'organisation de ce Forum une Association (AFI3G) a été créée sous la présidence de M. Pasquet, Président du Conseil National de l'Information Géographique (CNIG). L'AFT en est membre fondateur au même titre que IGN, OGE, Association des Villes de France, STU et Courly.

M. Vincent en est l'un des 2 vice-présidents, et M. Bailly le Trésorier.

10 — Régions

L'animation des Régions vous sera présentée par leur Président respectif.

Il convient de noter les remarquables visites organisées par la Région Rhône-Alpes à l'Observatoire de l'Institut de Radio-Astronomie millimétrique (IRAM) au Pic de Bure à Saint-Etienne-Dévoluy près de Corps et par la Région Provence à l'Observatoire du Cerga à Grasse.

11 — Conclusions et perspectives

L'année écoulée s'est caractérisée par une période étale tant en effectifs qu'en trésorerie.

Il faut tout faire, après les années de croissance précédentes pour que cela ne soit pas un sommet de la courbe de développement, mais un palier, peut-être nécessaire et préalable à une reprise vers le haut afin d'atteindre dans deux ans notre dixième anniversaire.

L'effort de tous est encore sollicité !

Demande d'emploi

Technicien 1^{er} échelon - 6 ans expérience dont 4 Outre-Mer cherche place France ou étranger.

M. Christian FIOT, Figayrole, 30570 Vallerargue

Libre de suite - 30 ans - Technicien 3^e échelon - Expérience travaux divers - Topographie - Orientation récente vers analyse/programmation - Région indifférente - Michel RENAULT, 66, avenue du Raincy, 93250 Villemomble (1-48.54.18.79).

Offre d'emploi

Sté rech. 1 analyste programmeur pour son bureau d'étude de topographie - Niveau minimum : examen préliminaire ou IUT (calcul scientifique). CV et prétentions à adresser à la revue.



FLUO TIP
LONGUE DURÉE
Fabriqué en France

**Sur le chantier, adoptez
LE TRACEUR-MARQUEUR
qui ne manque pas de souffle...**

- Bonne résistance aux intempéries
- Peinture fluorescente très visible - 7 coloris
- Sans plomb ni gaz toxique
- Séchage rapide même sur supports humides

SOPPEC
Z.I. de Nersac 16440 ROULLET-SAINT-ESTEPHE
Tél. : 45 90 50 15 Téléc. : 792 196

contactez

ACTUALITES A.F.T.

INFORMATIONS GENERALES

SAVIEZ-VOUS QUE...

— Il y a 200 ans naissait Dominique François Jean Arago, à Estagel près de Perpignan (26.02.86). Il entra à Polytechnique à l'âge de 17 ans et à 20 fut déjà chargé des mesures d'arcs de méridien. En 1809, il est nommé professeur à Polytechnique et membre de l'Académie des Sciences. Très connu pour ses travaux en optique, il a inventé le polariscope et découvert la polarisation de la lumière. (voir p. 64 - livre d'Arago par lui-même).

LIRE...

— La lecture sur écran dure jusqu'à 30 % de plus temps que celle d'un texte imprimé. Une conclusion à laquelle sont arrivés des chercheurs de Toronto. La lecture lente à l'écran nécessite, avec le développement de la bureautique, toujours plus de personnel et de temps passé, ce qui n'est pas sans certaines conséquences pour l'entreprise. On suppose que la lecture serait facilitée par une alternance majuscules/minuscules, ainsi que par une irrégularité d'arrêt de ligne à droite, plutôt que droite et justifiée. Les spécialistes font remarquer en outre, qu'avec un interligne à 1,5, la lecture est plus aisée qu'avec l'interligne simple.

— L'Ecole Suisse pour Opérateurs Photogrammètres (SSPO) de St-Gall a été fermée le 30 juin 1986, par décision de la Société pour la Promotion de la photogrammétrie pratique. L'activité scolaire ne cessera pas pour autant. Les deux fabricants d'instruments Wild et Kern se sont déclarés prêts à organiser des cours de perfectionnement par petits groupes sélectionnés, notamment pour la préparation au perfectionnement spécialisé basé sur les systèmes d'instruments assistés par ordinateur.

— Ce que les jeunes attendent de la profession ? Interrogés ils ont déclaré que pour eux, le plus important dans leur activité future était :

- La considération 14 %
- Un bon salaire 16 %
- La réalisation d'un rêve 17 %

- Pas de travail salissant 25 %
- Côté des gens intéressants 26 %
- Aider autrui 32 %
- La possibilité de promotion 35 %
- La sécurité de l'emploi 46 %
- Le poste performant 57 %
- La convenance 75 %

— Trouver du plaisir dans l'exercice de sa profession 90 %

Tous les espoirs sont donc permis !!

UN CONCOURS ET UNE FONDATION POUR LA PREVENTION DES RISQUES NATURELS

La France est-elle à l'abri d'une catastrophe comparable à celle du séisme de Mexico ? Haroun Tazieff ne le pense pas. L'hexagone pourrait connaître d'ici l'an 2000 un désastre naturel de cette ampleur. L'effort engagé en matière de prévention des risques naturels doit donc être accentué. Depuis la mise en place de la Délégation et de la loi du 13 juillet 1982 sur l'indemnisation, le montant des dommages s'est élevé à 4 milliards (34,23 milliards de \$ pour le tremblement de terre de Mexico). Cet été, les incendies de forêt rappelaient le chemin qu'il reste à parcourir dans ce domaine. Urbanisme avait consacré un numéro spécial (n° 196) à l'impact des mesures de prévention sur l'urbanisme et l'aménagement. La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) entend participer plus activement à cet effort des pouvoirs publics en créant la Fondation Nationale pour la Prévention des Risques Naturels sous la présidence d'honneur du célèbre vulcanologue. Objectif : promouvoir l'effort de prévention des collectivités locales en suscitant les initiatives.

Pour l'heure, cette action prend la forme d'un concours doté de 250 000 F qui devrait récompenser les plus exemplaires des réalisations. Les dossiers de candidature devront être remis avant le 30 juin 1987 au secrétariat de la Fondation, 31, rue Henri-Rochefort, Paris 17°.

COLLOQUES-CONGRES-MANIFESTATIONS

FORUM INTERNATIONAL DE L'INSTRUMENTATION & DE L'INFORMATION GEOGRAPHIQUES FI3G*

LYON - FRANCE 10-13 JUIN 1987
PALAIS DES CONGRES INTERNATIONAUX

Dernières nouvelles...

I — INSCRIPTIONS AU COLLOQUE*

Les premières inscriptions qui nous sont parvenues reflètent bien la diversité des experts concernés par FI3G :

- responsable des services techniques des villes (Courly-Lyon, Métro de Marseille), ingénieurs des villes de France ;
- ingénieurs techniciens et chercheurs des établissements

* Siège de l'Association pour le Forum : AFI3G, 140, rue de Grenelle, 75007 Paris (F).

publics (IGN (F), IGN (E), USGS, Cadastre, BRGM, ORSTOM, CTAMN, CNRS, SHOM, STU...) ;

- élèves et enseignants des écoles d'ingénieurs, ingénieurs et géomètres-experts du secteur privé, constructeurs d'instruments, aménageurs et décideurs des échelons central ou local.

Rappelons pour les étudiants les taux avantageux pratiqués pour une journée. Pour faciliter leur déplacement, FI3G accueillera les groupes pour une visite guidée.

Il est encore temps de s'inscrire et de bénéficier du taux faible pour les droits.

II — EXPOSITION

FI3G sera heureux d'accueillir à l'exposition les exposants suivants qui se sont déjà inscrits :

- **industriels** : Innoval, Kern, Kodak, Matra, Nikon, Lasercan, Slom, Wild, Yzerman, Zeiss-Oberkochen, Zeiss-Iena.
- **producteurs d'informations** : cabinets de géomètres-experts (aérophotogrammétrie Robin, SCP Chaumeil-Algrain, atelier de cartographie informatique...), l'ordre des géomètres-experts, Cern, Ign (F), Rijkswaterstad (NL), Spot-image.
- **éditeurs** : Bordas, Dunod, Gauthier, Recta-Foldex.

— associations, écoles : AFPA, CTAMN/Mines de Paris, ESTP, CIP-RECLUS, ISTED, SFPT.

* Inscriptions au secrétariat d'organisation : Package, 55, Montée de Choulans, 69323 Lyon Cedex 05 (F). Tél. : 78.42.29.53. Téléx : 330 295.

AFT — COLLOQUE DE STRASBOURG PROJET DE PROGRAMME DU 15 AU 17.10.87

JEUDI 15 OCTOBRE

Le cadastre français : historique, missions, moyens, structures.

La documentation cadastrale : le plan — la documentation littéraire — les fichiers informatiques — les microfiches — mise à jour et diffusion de la documentation cadastrale.

L'apport du cadastre aux collectivités locales : bases d'imposition, remaniement du cadastre, plan cadastral normalisé,...

VENDREDI 16 OCTOBRE

Le cadastre d'Alsace-Moselle : ses spécificités, ses liaisons avec le livre foncier.

Exemple d'un cadastre Allemand.

— Le Cadastre en Autriche.

— Le Cadastre en Suisse.

— Le Cadastre en Tunisie.

— L'Ordnance Survey en Grande-Bretagne.

SAMEDI 17 OCTOBRE

La mise à jour interactive et permanente des informations cadastrales (système Majic 2).

Le projet de plan numérique national de la CNIG.

Le projet d'informatisation des plans cadastraux.

Synthèse et clôture du colloque.

Exposition durant les trois jours.

DIMANCHE 18 OCTOBRE

Sous réserve circuit touristique.

PRE-INSCRIPTION

M. N° AFT

Adresse

envisage d'assister au Colloque

le 15 octobre 87 ☐, 16 octobre 87 ☐, 17 octobre 87 ☐

et sera accompagné de personnes

et demande que l'on prévoit son/leur hébergement à l'hôtel.

Faut-il prévoir un programme pour les dames ? OUI NON

Voulez-vous participer à un circuit touristique le dimanche 18 ?
OUI NON

Si OUI, combien de personne à prévoir :

Date Signature

Toute correspondance doit être envoyée chez : M. René Koecher, Directeur Service Arpentage, Communauté Urbaine de Strasbourg, BP 1049/1050 F, 67070 Strasbourg Cedex.

12^e CONGRES INTERNATIONAL D'HISTOIRE DE LA CARTOGRAPHIE PARIS, 7-12 SEPTEMBRE 1987

Le patronage du Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports du Comité français de cartographie, de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées de la Bibliothèque nationale, et de l'Institut géographique national.

Thèmes prévus :

1. Mappemondes médiévales.

2. Méthodes de la cartographie des Grandes Découvertes (XV^e-XVI^e siècles).

3. L'Etat et la cartographie (orientations de la cartographie nationale).

4. Méthodes de la cartographie historique des villes*.

5. Cartographie des îles : mythes et réalités.

Pour informations complémentaires s'adresser à : Monique Pelletier, Département des Cartes et Plans, Bibliothèque Nationale, 58, rue de Richelieu, 75084 Paris Cedex 02.

SIXIEME CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LA C.F.A.O. ET L'INFOGRAPHIE

Séminaires d'introduction/Tutorials

Lundi 23 février 1987

Conférences

Mardi 24 février — Vendredi 27 février 1987

Palais des Congrès, Paris.

CAP D'AGDE 23-24-25 MARS 1987

Congrès francophone sur l'enseignement assisté par ordinateur

EA0 87

PREVENIR L'ERREUR HUMAINE DANS LES INDUSTRIES A TECHNOLOGIE COMPLEXE

31 mars — 1^{er} avril 1987

L'apport de la fiabilité humaine, la discipline qui fait le pont entre la machine, les procédures d'information... et l'homme.

Session d'étude, CNOF, 119, rue de Lille, 75007 Paris.

Paris

Hôtel Méridien - Montparnasse

Mardi 7 avril 1987

1^{re} journée nationale avec exposition internationale

"LE TRANSPORT DES GRANULATS" QUELS MOYENS ? QUELS COUTS ? QUELS CHOIX ?

Cette manifestation fera le point sur un thème intéressant, ô combien ! préoccupant, pour tous ceux qui sont confrontés avec l'acte de produire, avec l'acte de construire, dans les meilleures conditions et au plus bas prix !...

Elle comportera une exposition très exhaustive des fournisseurs de matériels.

Tous les producteurs, négociants, transporteurs et utilisateurs de matériaux de construction issus du sous-sol sont concernés.

A noter que "les granulats" (O/D) dont la consommation française est de l'ordre de 400 à 500 Mt/an — tous "granulats" confondus — (soit près de 10 t/an et par habitant) représentent, et de loin, les plus forts tonnages à manutentionner, à transporter, à stocker, de toute l'industrie extractive.

Au cours d'exposés, suivis de très larges débats, tous les problèmes afférents à la manutention, au transport, au stockage, à la livraison, au conditionnement de ces matériaux depuis le site d'exploitation en "eau" (y compris "en mer") ou "hors d'eau" (roches massives), en passant par les installations de

traitement, jusqu'aux approvisionnements des dépôts et des chantiers de construction, de travaux neufs, d'entretien, de réparation, seront évoqués sous leurs différents aspects technico-économiques tels que :

- Quels sont les moyens proposés par les fournisseurs de matériels ?
- Quels sont les différents coûts suivant les moyens utilisés ?
- Quels choix de moyens peut-on retenir ?

Pour toutes informations, s'adresser à :

SIM (à l'attention de Armand Vignal, Conseiller Technique, Responsable Journée "Transports Granulats"), 35, rue des Petits-Champs — 75001 Paris — Tél. : (1) 42.96.96.20.

BRGM — CNES — IGN — INSU

Comité National Français de géodésie et de géophysique

COLLOQUE NATIONAL DEVELOPPEMENTS RECENTS EN GRAVIMETRIE

Orléans, 12-13 mai 1987

Pour toute information, s'adresser à :

BRGM — Direction de la Technologie
BP 6009
45060 ORLEANS CEDEX
A l'attention de Danièle Bois

BIBLIOGRAPHIE

URBANISME

54 bis, rue Dombasle, 75015 Paris.
Tél. : (1) 45.31.06.05. RC Paris 5720701758.

NUMEROS DISPONIBLES

N° 215 — Plans de villes : Le pouvoir de l'image : A l'heure où les villes ne parlent plus que de gestion. Un retour en force du plan, analysé à travers son rôle historique dans le développement des villes de Lyon, Montpellier et Strasbourg. En annexe : l'explosion cartographique actuelle. Spécial : le parc de la Villette par B. Tschumi.

N° 214 — 15 ans de PAN. Analyse urbaine : l'innovation architecturale à travers 15 ans de réalisations d'habitat social sous l'angle de leur rapport à l'urbain (Reims, Rochefort, Rezé).

N° 213 : Gestion, reconversion : les affaires urbaines s'emparent des villes, de leurs services, de leurs friches. Bordeaux, Nîmes, Dijon, et Bagnolet. Spécial : 2 000 ha à Melun Senart.

N° 196 : Catastrophes : La prévention des risques naturels au stade de la planification.

Collection "Epistémè" dirigée par Stéphane Deligeorges
CHRISTIAN BOURGEOIS EDETEUR
FRANÇOIS ARAGO

HISTOIRE de MA JEUNESSE suivi de LA VIE de FRANÇOIS ARAGO

Préface de Jean-Christophe Bailly - Introduction par Alexandre de Humboldt - Ouvrage publié avec le concours du Centre national des lettres.

UN GUIDE DE LA REVUE
TECHNIQUES ET ARCHITECTURE
54 bis, rue Dombasle, 75015 Paris. 176 pages, illustrations en noir et blanc, format 215 x 135 mm.

PARIS ARCHITECTURE

par Michèle Béhar et Manuelle Salama
Editions Régirex-France
7 ITINERAIRES D'ARCHITECTURE CONTEMPORAINE A PARIS
Institut Français d'Architecture, 6, rue de Tournon, Paris VI^e.

SUSAN DAY

LOUIS SÛE — 1875-1968

ARCHITECTE DES ANNEES FOLLES ASSOCIE D'ANDRE MARE

FORMATION ET PRINCIPES ARCHITECTURAUX

Une clientèle de prestige : Paul Poiret, Isadora Duncan, Jeanne Paquin, Yves Mirande, Jane Renouard, Jean Patou, Hélène Rubinstein, Edouard Mignot, Daisy Fellowes, René Combastet.

© Editions du Champ Vallon 01420 Seyssel
Collection milieux Champ Vallon

L'ARCHITECTURE DU FER FRANCE : XIX^e SIECLE par Bertrand LEMOINE

Ouvrage publié avec le concours du Centre National des Lettres.

Ce livre restitue la triple histoire du fer : celle d'une production industrielle et d'une technique de construction ; celle d'un matériau qui a permis et accompagné l'émergence de nouvelles typologies architecturales ; celle, enfin d'un objet de débat, au cœur de l'effervescence recherche de nouveaux langages stylistiques propres au XIX^e siècle.

Bertrand Lemoine, né en 1951, ingénieur diplômé de l'Ecole Polytechnique et de l'Ecole des Ponts et Chaussées, architecte et docteur en histoire, est chercheur au CNRS. Il est aussi chargé de mission à l'Institut Français d'Architecture.

Il a déjà publié, en 1979, l'Architecture et les ingénieurs (en collaboration), en 1980, Les Halles de Paris, en 1984, Gustave Eiffel, et, en 1986, La Statue de la Liberté.

A paraître en 1987 : Les Passages couverts en France - Archives d'Architecture Moderne.

© Pierre Mardaga, éditeur, 2, Galerie des Princes, 1000 Bruxelles, 37, rue de la Province, 4020 Liège.
Institut Français d'Architecture

LA STATUE DE LA LIBERTE

par Bertrand LEMOINE

Cent ans après sa naissance, La Statue de la Liberté est à la fois devenue un symbole universel de l'idéal qu'elle célèbre, et une effigie des Etats-Unis d'Amérique.

Ce livre retrace en détail la genèse politique et artistique de cette œuvre franco-américaine. Pour la première fois se trouve rassemblé l'ensemble de l'archive iconographique relative à la conception et à la construction de la statue et de son piédestal.

La toilette attentive à laquelle elle vient d'être soumise, dont les principales étapes sont évoquées dans cet ouvrage, permettra à la Statue de la Liberté d'attendre avec sérénité son bicentenaire, et de continuer à scruter avec inquiétude l'horizon de ce monde troublé.

Jean-François Bourg

FOOTBALL BUSINESS

Olivier Orban

Pour la première fois en France, une enquête approfondie lève le voile sur les rapports secrets du football et de l'argent. Sait-on combien gagne Platini ? Quels sont les 50 plus gros salaires des footballeurs français ? Le rôle des sponsors ? Le montant des transferts ? Les budgets des grandes équipes.