

XYZ Association Française de Topographie



Colloque international Toulouse 17-19 décembre 1986

SPOT 1 — Premiers résultats en vol

9^e année

ISSN 0290 — 8057

N° 30 — MARS 1987

Prix : 95 F

COUVERTURE



Photo SLOM ESSILOR

Editorial

Le Géomètre-Expert ayant opéré sur le Site de la Villette a effectué, entre autre, l'implantation de la Géode.

Compte tenu de la structure (charpente tubulaire) et de la forme particulière de la Géode, le Géomètre s'est acquitté de sa mission relativement complexe et délicate en utilisant un tachéomètre électronique GTS 3 Topcon (Slom-Essilor).

Cet instrument simple, précis et d'une grande fiabilité a contribué à la réussite de l'opération, à la grande satisfaction de la Société Multicubes, réalisatrice de l'ouvrage.

Rendez-vous

à

Strasbourg

du 15 au 18 octobre
1987

voir page 47

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.

s o m m a i r e

Trois cents ans de géodésie française, par J.-J. LEVALLOIS	3
Réduction des longueurs, par Raymond d'HOLLANDER	19
Colloque de Toulouse — SPOT I — Premiers résultats en vol	32
Toute la France sur vos genoux — Les cartes routières cartographiées par l'IGN au 250 000 ^e	42
Répertoire des Annonceurs	42
Influence des dimensions de la terre sur les cartes marines et la navigation, par Antoine DEMERLIAC	43
Actualités AFT	48
En arpentant les textes anciens, par Michel SAUTREAU	52
Les records du temps	52
Récréations mathématiques, par Michel SAUTREAU	54
Course de l'EDHEC 87	55
Le coin cuisine d'XYZ	56
Mots croisés	56

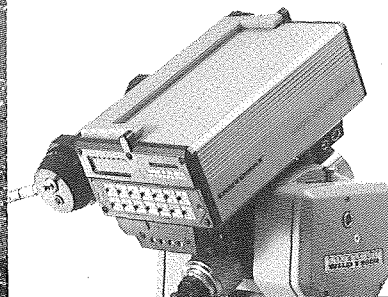
VOUS NE POUVEZ VRAIMENT PAS

ENVOYER VOTRE PORTE-MIRE N'IMPORTE OU

**La solution:
la mesure sans réflecteur avec
le Wild DIOR3002**

Certaines mesures dans l'industrie et l'ingénierie entraient autrefois dans de nombreux problèmes que l'on résout maintenant avec le DIOR3002; cet instrument permet de mesurer sans contact et avec précision des points inaccessibles, par exemple sur des bâtiments et dans des carrières, bien plus rapidement qu'avec les méthodes classiques. Quelques exemples d'application: mesure de sections et de profils, détermination du niveau de remplissage des réservoirs, mesure d'objets incandescents ou éloignés, etc.

Demandez notre documentation.



G 5-87

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

WILD®
HEERBRUGG

Trois cents ans de géodésie française (suite)

par J.-L. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe honoraire

XIII — Entre les deux guerres

Coopération internationale : l'Association Géodésique Internationale fut mise en sommeil pendant la guerre 1914-1918 ; seule une petite association géodésique restreinte, entre Etats neutres (Danemark, Espagne, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse) réussit à lui maintenir une existence et à assurer le fonctionnement du Service International des Latitudes, pendant que les autres membres, répartis dans les deux camps belligérants, avaient le devoir d'être ennemis.

A la fin des hostilités un certain nombre de conférences internationales se réunirent pour recréer une coopération scientifique. Elles s'entendirent sur l'organisation suivante :

— un Conseil International de Recherches — qui sera plus tard le Conseil International des Unions Scientifiques (CIUS) — coiffait un ensemble d'Unions Scientifiques :

- l'Union géodésique et géophysique internationale (UGGI) ;
- l'Union astronomique internationale (UAI) ;
- l'Union Internationale de Chimie pure et appliquée ;
- l'Union Internationale de Physique pure et appliquée ;
- l'Union Internationale de Radiotélégraphie scientifique ;
- l'Union Internationale des Sciences Biologiques ;
- l'Union Internationale de mathématiques.

L'UGGI se subdivisait en sections — plus tard Associations —

Ch. Lallemand en fut nommé Président.

G. Perrier fut nommé Secrétaire de l'Association Internationale de Géodésie (AIG), organisation de tradition de l'Ancienne Association Géodésique Internationale, à laquelle l'Association Géodésique réduite entre Etats neutres avait transmis ses responsabilités.

C'est cette AIG qui, dans le sein de l'UGGI, sera désormais l'organisme de liaison des géodésiens du monde entier.

Travaux géodésiques du Service Géographique de l'Armée : un décret de 1911, définissant les attributions du Service Géographique de l'Armée, l'avait placé sous les ordres directs du Ministre de la Guerre. Il stipulait :

Article 1 : Le Service Géographique de l'Armée est chargé du levé, de l'exécution et de la publica-

tion des cartes topographiques et géographiques. Il exécute les travaux de géodésie, de topographie et de cartographie nécessaires, il procède aux études et recherches scientifiques qui s'y rapportent...

Article 2 : Le Service Géographique de l'Armée comprend trois sections : géodésie, topographie et cartographie...

Il fixait également la composition du personnel militaire et civil. Les travaux de terrain étaient confiés au personnel militaire, les travaux à caractère sédentaire spécialisé, à du personnel civil, placé toutefois sous les ordres des Chefs de Sections, officiers supérieurs chargés au terme du décret d'en diriger les travaux.

La Géodésie ne constituait donc qu'une partie des activités du SGA dont le but essentiel était, comme celui de son prédécesseur, le Dépôt de la Guerre, de faire la carte, sans oublier l'aspect militaire qui était la raison d'être de ses attributions.

La fin de la première guerre mondiale, le rendit à ses préoccupations du temps de paix, dirigées essentiellement vers l'élaboration d'une description géodésique et cartographique du pays et des territoires sous sa dépendance, suivant des programmes précis.

L'équipe des géodésiens de 1914 n'existait plus. Sept d'entre eux avaient été tués, d'autres s'étaient orientés différemment à la paix. Le Colonel Georges Perrier (1872-1946) fut chargé par le Général Bellot, nouveau Directeur du SGA, de la reconstituer (1919). C'était un géodésien accompli ; âgé de seize ans à la mort de son père François Perrier (1888) il s'était dirigé vers la carrière militaire et ne tarda pas à rentrer au Service Géographique de l'Armée où il fut l'élève de Bassot et Bourgeois, disciples de son père. Il se distingua au cours de plusieurs missions géodésiques en particulier lors de la mission du Pérou (1902-1907).

Il sera plus tard Professeur de Géodésie et Astronomie à l'Ecole Polytechnique, membre du Bureau des Longitudes, membre de l'Académie des Sciences, et nous l'avons vu, Secrétaire de l'Association Internationale de Géodésie (1920-1946).

G. Perrier fit appel à de jeunes officiers et procéda à leur instruction, d'une part en faisant revivre le cours de Géodésie du Service Géographique de l'Armée et en les instruisant sur le terrain d'autre part, en commençant par les régions dévastées par la guerre, ou presque rien ne subsistait, ainsi que dans les territoires d'Outre-Mer, au Maroc et au Levant sur les territoires actuels de la République du Liban et de la République Arabe Syrienne, pré-

cédemment sous occupation turque, qui venaient d'être placées sous mandat français. Une tâche de longue haleine les attendait.

En France, la nouvelle triangulation avait été amorcée, mais ne comportait encore que quelques chaînes à l'Est de la Méridienne dont certaines avaient été interrompues par la guerre. Le premier ordre complémentaire n'existait pratiquement pas.

Le réseau de 2^e ordre et de 3^e ordre de la N.T. ne couvrait qu'un très petit nombre de feuilles, observées à titre expérimental pour les besoins des études de la nouvelle carte au 1/50.000 type 1922, ou pour servir de base à la triangulation cadastrale.

Au Maroc et dans les Etats du Levant, tout était à faire ou à reprendre.

Les travaux de triangulation en Indochine, à Madagascar, étaient exécutés par les services locaux dépendant du Gouvernement général de la colonie, mais la partie active du personnel de terrain était en général formée au Service Géographique de l'Armée.

Reprise de la Nouvelle Triangulation (N.T.) : le programme de G. Perrier et des successeurs était le suivant :

— réobserver la partie détruite de la méridienne de France dans le Nord ;

— compléter les grandes chaînes primordiales inachevées en 1914, savoir :

— pousser le parallèle d'Amiens vers l'Ouest jusqu'à l'embouchure de la Somme et vers l'Est jusqu'à la jonction avec la triangulation belge des Ardennes ;

— achever le parallèle d'Avignon ;

— pousser le parallèle de Paris (section Est) jusqu'à Strasbourg, le joindre à la méridienne de Lyon.

— mesurer les nouvelles bases nécessaires (Albert, Châlons, Salon) ;

— observer le réseau de 1^{er} ordre complémentaire à l'intérieur des mailles ainsi créées ;

— reconnaître et observer les chaînes à l'Ouest de la méridienne de France ainsi que le 1^{er} ordre complémentaire.

La 2^e guerre mondiale interrompit ce programme en août 1939.

Les travaux achevés par le SGA au moment où elle éclatait sont représentés sur le schéma ci-joint, par des bandes sombres suivant le parcours des chaînes et des hâchures sur les régions couvertes par le 1^{er} ordre complémentaire (fig. 54).

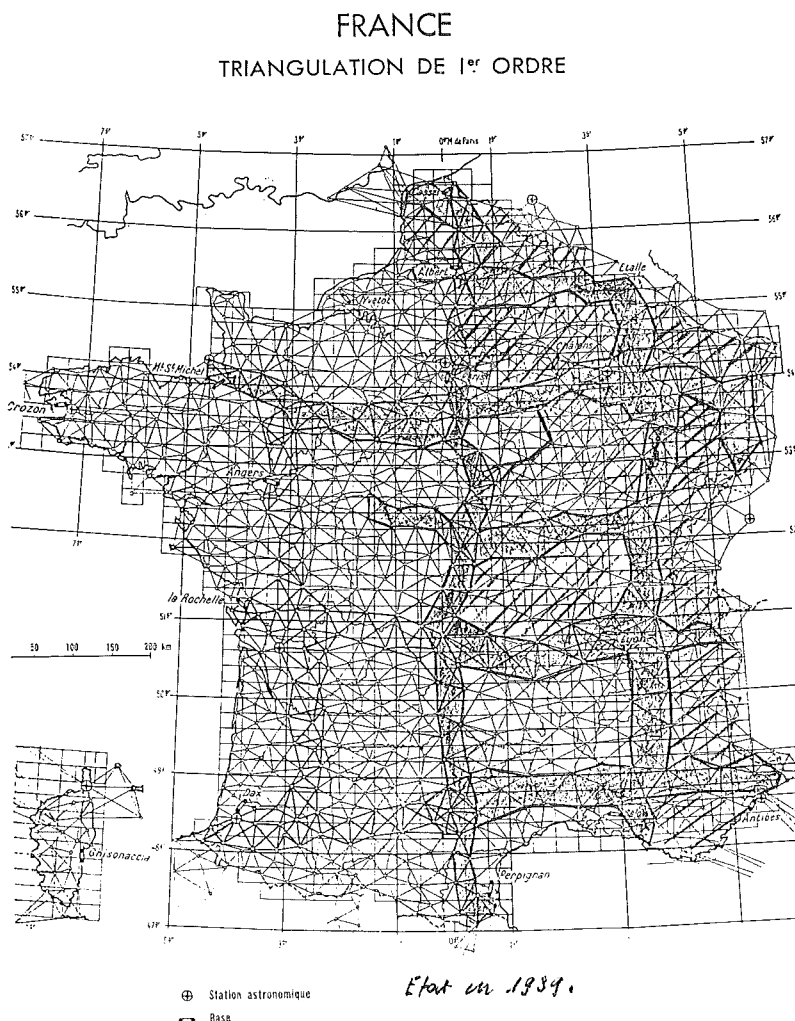


Fig. 54

A l'ouest de la méridienne, seul avait pu être reconnu et observé presque entièrement le parallèle de Paris (1936-1939) ; le parallèle de Toulouse avait été reconnu et les observations à peine amorcées à la jonction avec la méridienne (1938-1939) ;

le 1^{er} ordre complémentaire du Valois et du Vexin avait été reconnu, mais non observé.

La triangulation de détail couvrait en 1939 toute la zone de la frontière du Nord, du Nord-Est, de l'Est et du Sud-Est (Fig. 55).

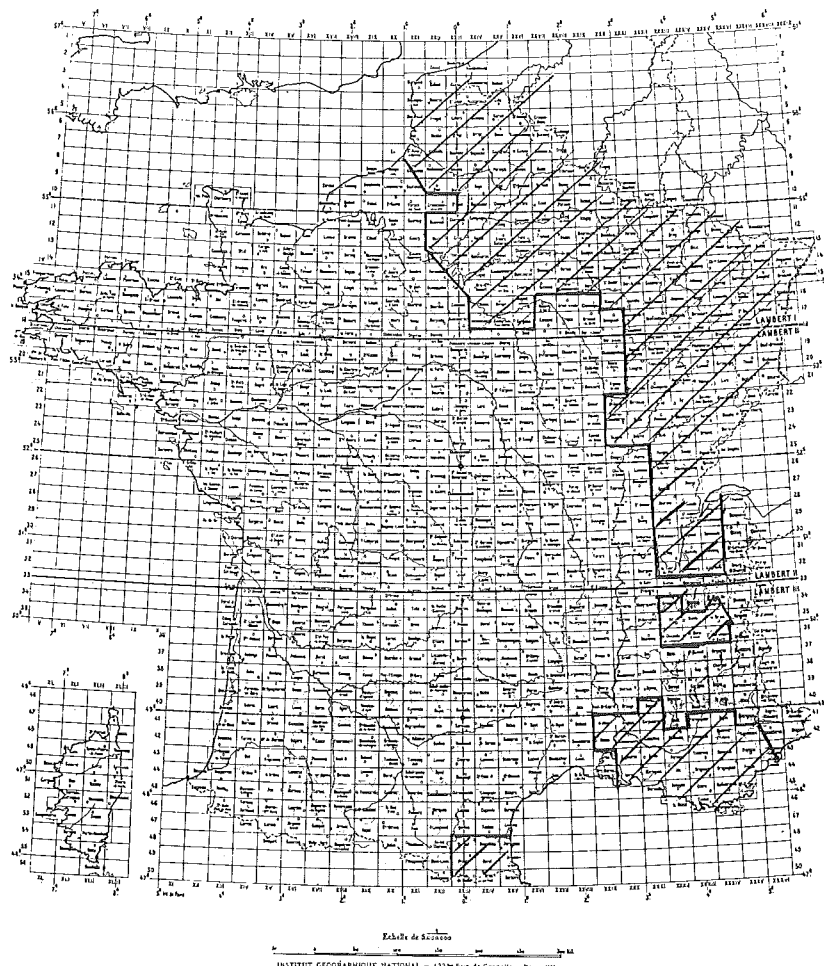


Fig. 55

Elle était observée feuille par feuille, sous forme d'un réseau de 2^e ordre assez dense complété par un réseau de 3^e ordre, observé en général par intersection à partir du 1^{er} et du 2^e ordre. Les brigades d'observation de détail ne disposaient pratiquement d'aucun moyen de signalisation, sauf d'un signal démontable — tripode Raguet — susceptible de s'élever à 7 mètres au-dessus du sol. C'étaient donc le sens du terrain et le métier personnel du géodésien qui déterminaient les possibilités et précisaient le plan d'observation, arrêté après une reconnaissance très poussée, particulièrement difficile en zone couverte (arbres balisés).

La triangulation Helbronner : P. Helbronner, géodésien amateur, avait entre les années 1903-1928, procédé à ses frais à la description géométrique des Alpes. Dans les tomes de son œuvre sont reproduites de splendides photographies panoramiques en couleurs, prises des principaux sommets, et les tours d'horizon observés avec son instrument personnel. Sa triangulation se compose d'une méridienne joignant le Lac de Genève (feuille de Thonon) aux Alpes Maritimes le long de

la frontière italienne, de triangulations de détail (voir fig. 55), et d'une jonction à grand spectacle entre les Alpes Maritimes et la Corse (1925), pour laquelle il demanda et reçut une aide considérable de l'Armée et de la Marine Nationale (10 officiers, 200 hommes).

Les observations, honorables d'ailleurs, concernaient environ 2 000 points géodésiques que le SGA incorpora à son propre canevas. Le repérage des points de détail manquait de rigueur, et l'auteur qui disposait de grosses et influentes relations, veillait à ce qu'on ne chasse pas sur ses terres ; le SGA dut donc s'abstenir d'observer dans les régions triangulées par Helbronner, sauf à observer quelques rattachements à son 1^{er} ordre, pour unifier le canevas.

Les travaux d'Helbronner sont consignés dans sa "Description géométrique détaillée des Alpes françaises" formidables bouquins (13 tomes pesant sûrement plus de 30 kg) où l'auteur décrit ses travaux, ses joies, ses états d'âme, ses difficultés et ses démarches.

Honneur aux hommes de bonne volonté !

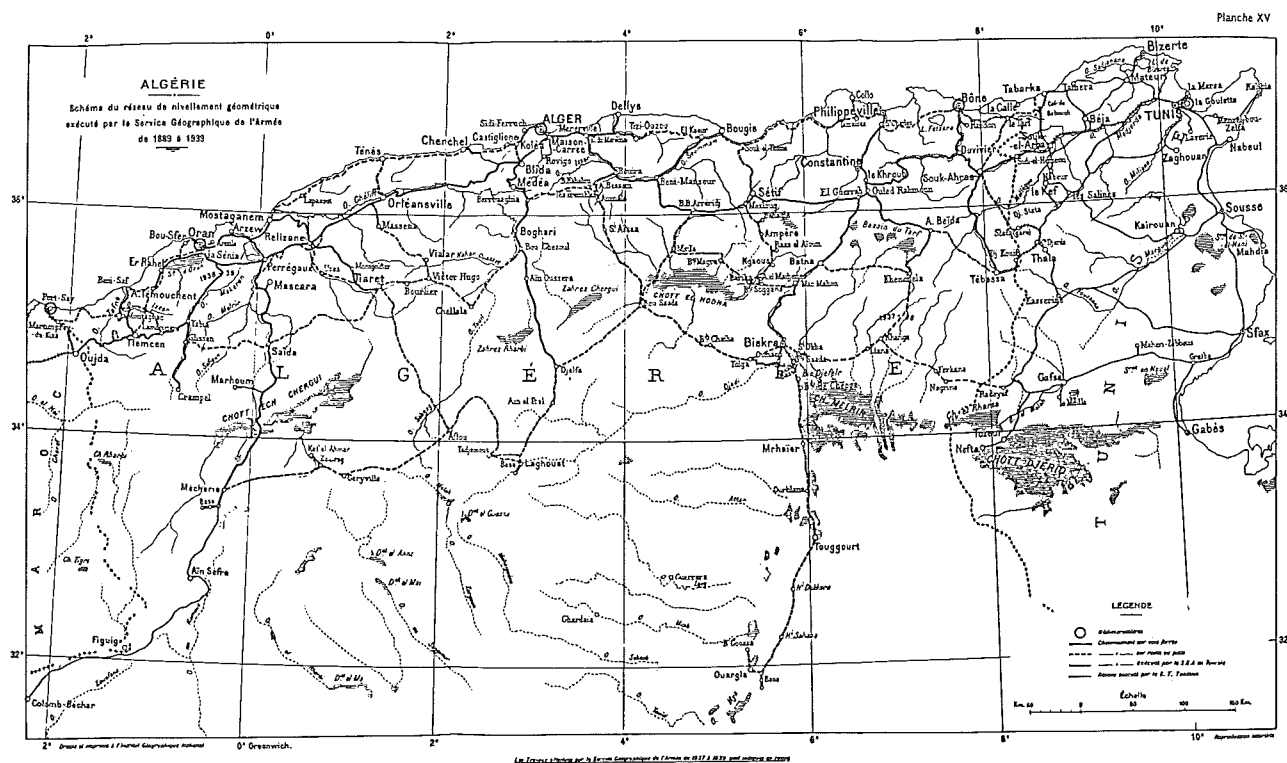


Fig. 56

Algérie-Tunisie : La triangulation était pratiquement terminée en 1914. Les travaux géodésiques proprement dit étaient consacrés à des réfections locales du réseau de détail, mais surtout au nivellement de précision. La carte jointe (fig. 56) représente l'état de ce réseau en 1939.

La triangulation du Maroc : C'est vers 1907 que l'occupation militaire française et espagnole ouvrit le Maroc à l'européen. Un des premiers soins des occupants français fut d'en lever la carte, un Bureau topographique est établi à Casablanca (1908). De 1911 à 1914 une topographie à petite échelle, basée sur une géodésie de reconnaissance, observée au cours des opérations de pacification des colonies, établit une carte au 1/200 000. La guerre de 1914 suspend pratiquement tous les travaux. C'est en 1920 que les opérations géodésiques régulières débuteront.

Au point de vue géographique, le Maroc occupe une surface de 450 000 km², soit les 4/5 de la France. En dehors d'une frange littorale sur la façade atlantique, 4 chaînes montagneuses sensiblement "parallèles" en commandent le relief : ce sont du Nord au Sud.

- la chaîne du Rif en bordure méditerranéenne culminant à 2 500 m ;
- le Moyen-Atlas orienté Sud-Ouest Nord-Est, culminant à plus de 3 000 m ;
- le Haut-Atlas parallèle au précédent avec des sommets de 4 000 m ;
- l'anti-Atlas, le Djebel Sahro, en moyenne à 2 000 m.

Entre Rif et Moyen-Atlas, c'est la trouée de Taza, grande artère de circulation entre Rabat, Meknès, Fez, Taza, Oudjda et l'Algérie.

Entre Moyen et Haut-Atlas, est la vallée de la Moulouya débouchant en Méditerranée au Nord d'Oudjda.

Cette géographie commande le schéma général des chaînes géodésiques du Maroc. La figure 57 représente l'état de cette triangulation en 1939.

Le point fondamental de la triangulation marocaine est à Merchich à une trentaine de kilomètres au Sud de Casablanca.

Le parallèle de Meknès part de cette région pour suivre une direction Est Nord-Est vers la frontière algérienne, qu'il atteint entre Oudjda (Maroc) et Nemours (aujourd'hui Ghazouet) (Algérie) où les deux chaînes se raccordent.

De ce parallèle se détachent trois chaînes méridiennes de l'Ouest à l'Est :

- la méridienne de Marrakech qui descend de la région de Casablanca en encadrant sensiblement le méridien 8° Ouest de Greenwich ;
- la méridienne de Meknès qui se prolonge au Nord jusqu'à la jonction de la triangulation espagnole de la région de Larache, et au Sud jusqu'à Khénitra le long du méridien 6° Ouest de Greenwich ;
- la méridienne de Guercif, le long du méridien 3° Ouest de Greenwich jusqu'à Bou Denib.

En dehors des chaînes qui forment l'ossature du calcul d'ensemble, un gros réseau de 1^{er} ordre complémentaire se développe :

- le long de la côte atlantique, de Casablanca à Agadir ;
- entre le parallèle de Meknès sur le Moyen Atlas, et la crête du Haut Atlas en encadrant ainsi la vallée de la Moulouya ;

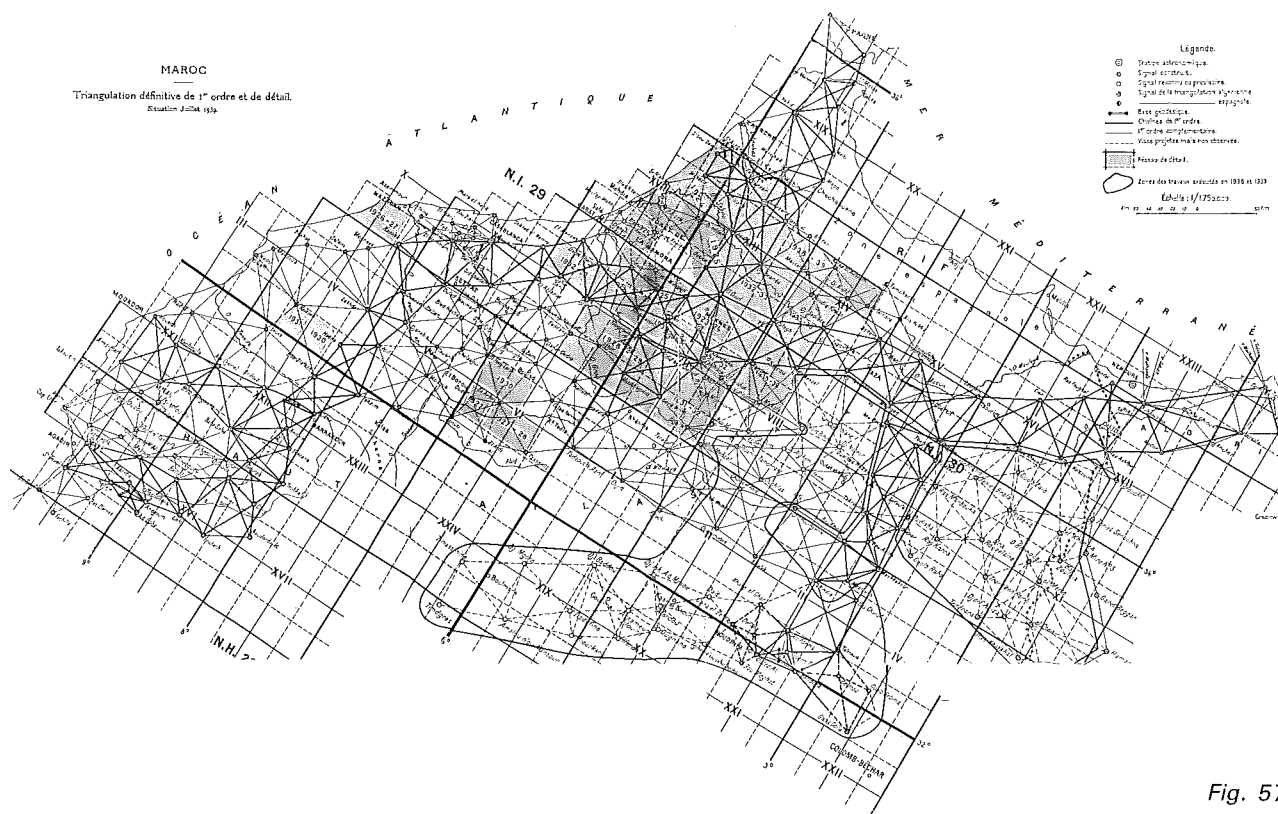


Fig. 57

— le premier ordre complémentaire est reconnu sur de nombreuses autres zones en particulier au Sud de la crête du Haut Atlas vers le Djebel Sahro et d'autre part entre la méridienne du Guercif jusqu'à la frontière algérienne.

L'échelle des réseaux est assurée par 7 bases :

- base frontière au sud de Larache en liaison avec la triangulation espagnole
- base d'Agourai près de Meknès
- base de Ber Rechid près de Merchich, Casablanca ;
- base de Guercif ;
- base de Marrakech ;
- base de Taroudant à 50 km Est d'Agadir ;
- base de Bou Denib au sud de la méridienne de Guercif.

Un réseau de détail, centré sur Meknès, couvre une surface de l'ordre de 45 000 km².

L'ensemble du réseau régulier a été établi en moins de vingt ans.

Triangulation du Levant : Lorsqu'à la signature des traités de paix, les territoires actuels de la Syrie et du Liban sont confiés au mandat français, la cartographie y est encore très sommaire et le canevas géodésique ne couvre que quelques régions très limitées. Sur l'intervention des gouverneurs militaires on prévoit une couverture cartographique régulière au 1/50 000 appuyée sur un canevas géodésique solide.

Entre 1920 et 1930 est observée une chaîne géodésique de 400 kilomètres, la méridienne d'Alep joignant le Sud du Liban à la frontière de Palestine, et l'étendant au Nord jusqu'à la frontière turque. Elle est appuyée sur deux bases, la base de la Bekaa

dans la plaine entre les chaînes du Liban et de l'anti-Liban et la base de Bab au Nord d'Alep.

Le point fondamental est le terme Sud de la Base de la Bekaa, doublé par l'Observatoire de Ksara tout proche.

Cette chaîne, établie sur les sommets montagneux est complétée par un premier ordre complémentaire s'étendant jusqu'à la Méditerranée.

A partir de 1930 la triangulation de la région de la Base de Bab sert de point de départ à la chaîne de l'Euphrate qui s'appuie sur les hauteurs dominant la vallée du fleuve, depuis la base jusqu'au-delà de Der ez Zor non loin de la frontière de l'Irak. Elle est complétée par un arc qui, partant de la région de Fakka sur l'Euphrate remonte jusqu'à la frontière turque, la suit d'Est en Ouest, se remet à l'échelle par la base d'Hassetché et s'infléchit vers le Sud selon un méridien pour revenir dans la région de Der ez Zor parallèlement à la frontière irakienne.

Au total les chaînes observées au Levant représentent 1 200 km de chaînes primordiales et 400 km environ de 1^{er} ordre complémentaire le long de la côte méditerranéenne (fig. 58).

Le tout est complété dans les zones importantes par une triangulation de détail ayant une densité de l'ordre de 1 point pour 25 km², elle couvre environ 45 000 km².

Nivellement direct (Levant) : il est appuyé sur deux médimarémètres, Beyrouth et Alexandrette. Il se développe suivant les mêmes axes que la triangulation de 1^{er} ordre, avec en outre une importante

LEVANT Ensemble du réseau géodésique

Planche 4

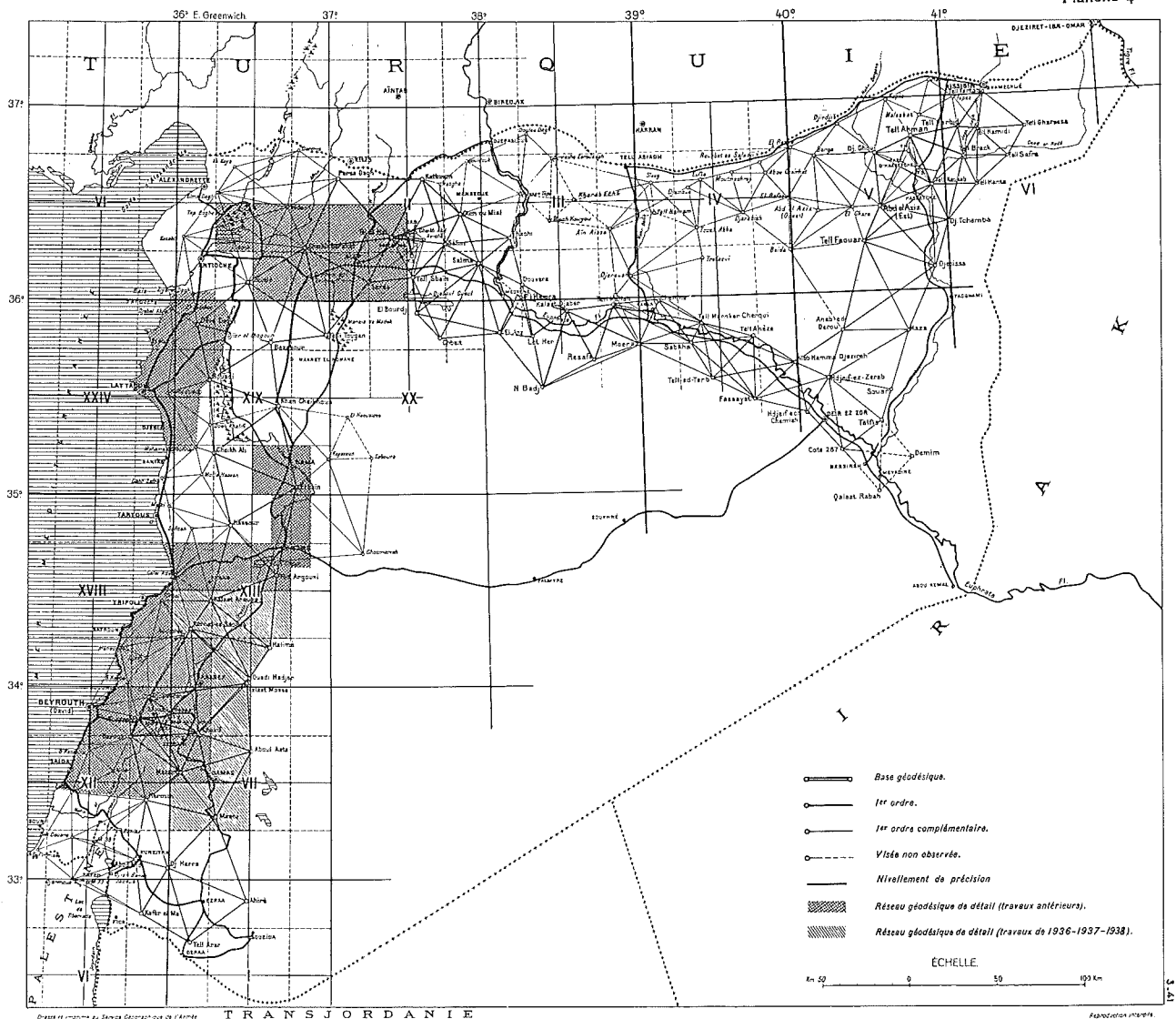


Fig. 58

traverse Tripoli, Homs, Der ez Zor en direction générale de l'Irak (pipe-line Mossoul — Tripoli).

Services géographiques locaux : En Afrique, à Madagascar, en Indochine, le territoire était sous les ordres d'un gouverneur général nommé par la France.

Entre ses mains étaient concentrés tous les pouvoirs. Le Service Géographique local dépendait donc de lui, sans interférence de la métropole. Il décidait des programmes de travaux et les crédits étaient inscrits au budget du territoire. L'avance de la cartographie locale dépendait donc de l'importance ou de l'urgence que lui attribuait le gouverneur.

Le SGA n'intervenait qu'indirectement, pour former le personnel géodésien ou topographe.

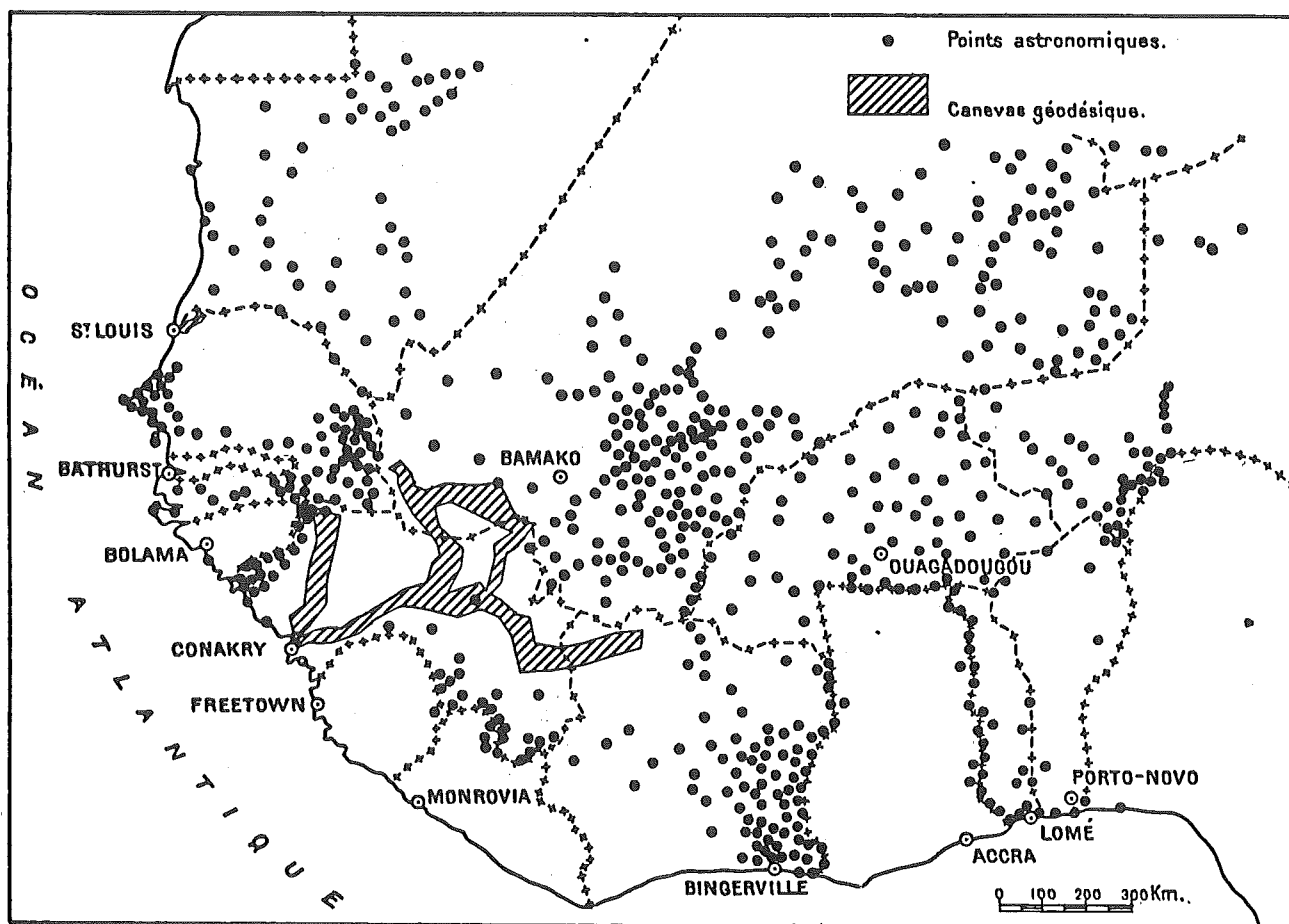
Le personnel opérateur était du personnel militaire des troupes coloniales — infanterie, artillerie coloniale — le personnel sédentaire étant presque toujours fourni et instruit sur place pour assurer les travaux sédentaires de cartographie. Ce service géographique local prenait en général la succession

d'un Service Géographique purement militaire créé au temps de la conquête, pour les besoins des opérations ou des travaux militaires.

Afrique : Les tentatives pour créer un canevas géodésique régulier se soldèrent par un échec. Le pays à couvrir était immense, de parcours ou de reconnaissance difficile, brumeux, parfois très plat et sans relief, parfois couvert par la forêt sans possibilité de débouchés et les canevas géodésiques qui furent alors tentés se résument en quelques systèmes locaux sans liaison possible.

En Guinée seulement, des opérations régulières purent être entreprises de 1906 à 1914, sur un développement total de l'ordre de 1 800 km (fig. 59).

Elles furent reprises, la paix revenue, de 1923 à 1930, au prix des pires difficultés. La moindre étant de retrouver les points anciens à travers la végétation... C'est en définitive un canevas de points astronomiques, dont la détermination fut facilitée par des liaisons télégraphiques, ou à partir de 1913-



CANEVAS GÉODÉSIQUE ET ASTRONOMIQUE
EN AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE.

Fig. 59

1914 par écoute des signaux horaires qui permit de fixer au topographe et au cartographe des positions suffisantes pour tracer les cartes aux petites échelles (1/200 000) couvrant les territoires concernés.

Indochine : Dès 1886 existait à l'Etat-Major de Hanoï un Bureau topographique chargé des levés de cartes provisoires basées localement sur des triangulations expédiées, travail d'ailleurs très respectable. C'est vers 1900 que Paul Doumer, Gouverneur Général, futur président de la République Française, décida la création du Service Géographique d'Indochine et fit appel au SGA pour le conseiller dans son entreprise. L'intention du gouverneur était de couvrir le territoire d'une cartographie régulière à l'échelle de 1/100.000, et partiellement au 1/25.000 en région très peuplée (48).

Cette carte est basée sur un canevas géodésique régulier établi à partir de 1901 qui comporte un important réseau de 1^{er} ordre, et un réseau de détail étendu dont la fig. (60) donne l'état fin 1937.

Le point fondamental est à Hanoï ; un certain nombre de chaînes traversent le pays du Nord au Sud et sont reliées par des traverses Est Ouest, le tout est appuyé sur 7 bases, la base de Quang Tri, au centre Annam étant la base principale, les autres n'étant qu'à titre de vérification. Comme beaucoup de réseaux, observés pour appuyer une cartographie urgente, ce réseau n'était pas compensé dans son ensemble. Tel quel, il représente 35 années

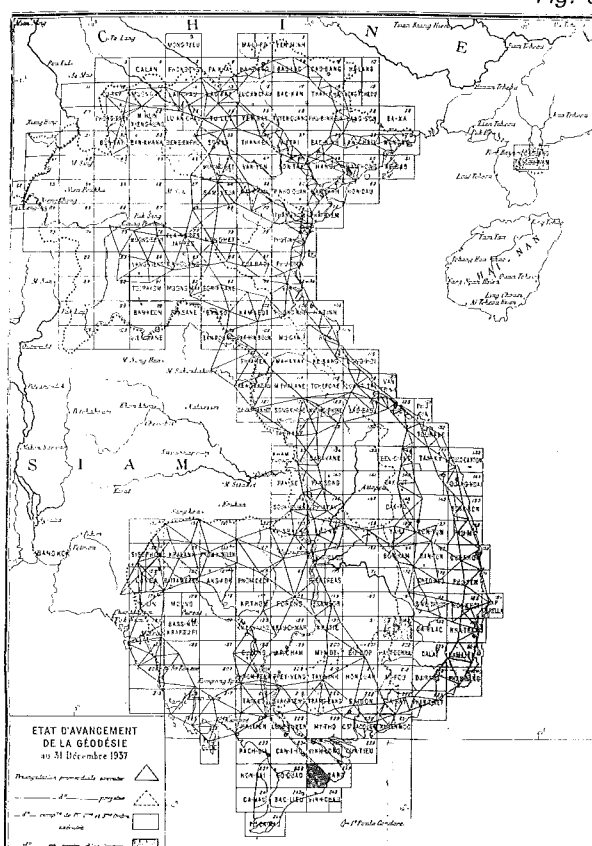


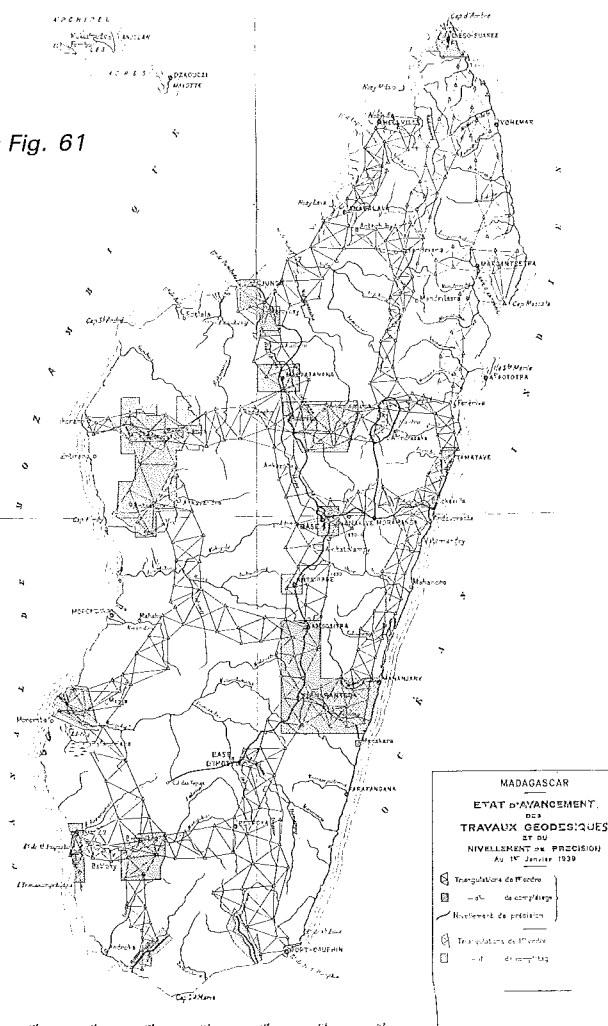
Fig. 60

d'efforts continus des géodésiens, dans un climat épuisant pour l'Européen, et de nombreux militaires, opérateurs ou aides de terrain, y laissèrent leur vie (54 entre 1903 et 1931).

Madagascar : Les phases essentielles des travaux cartographiques entrepris à Madagascar sont décrites en (48). Aux opérations géodésiques expédiées succèdent à partir de 1911 des mesures régulières bientôt interrompues par la guerre 1914-1918.

De 1920 à 1924, le Service Géographique de Madagascar végète toutefois, et faillira même disparaître, par suite du manque d'intérêt dont témoigne le Gouverneur Général pour les travaux cartographiques.

Son successeur, désigné en 1924, donne une vigoureuse impulsion — programmes, crédits, effectifs, moyens — au Service Géographique de Madagascar qui est à la même époque, placé sous les ordres du Commandant J. Laborde, géodésien exceptionnel dont nous reparlerons plus loin. Les travaux de grande envergure vont alors se succéder, parfois par réfection des travaux anciens.



En outre, à l'initiative de Laborde et de l'Observatoire de Tananarive, le point fondamental d'Ambokidumpona est repris et relié avec soin au réseau mondial des longitudes (1926).

Enfin en 1927, commence l'exécution d'un nivel-

lement de précision, mesuré par la méthode Cholesky, rattaché au médimarémètre de Tamatave.

La figure (61) donne l'état des travaux de triangulation en 1939.

Travaux du Service Hydrographique de la Marine : Il convient de mentionner les liaisons souvent étroites entre les travaux du SGA et les missions hydrographiques du Service Hydrographique de la Marine.

Bien souvent les premiers travaux géodésiques ont été des travaux côtiers entrepris par le SHM (aujourd'hui SHOM, O = océanographique) pour préciser les conditions de navigation, fixer les positions astronomiques des îles, procéder aux triangulations destinées à fournir les repères de navigation.

C'est ainsi qu'au Levant toute la côte de Syrie a été explorée de la région d'Alexandrette au Nord, jusqu'à Saïda au Sud à partir de 1920, qu'en Indochine le SHM exécuta d'importantes triangulations côtières entre 1905 et 1914, reprises en 1922 et qu'à Madagascar il fit de même de 1885 à 1912.

Par sa spécialisation même, le Service Hydrographique de la Marine était appelé à faire porter ses études sur les méthodes de navigation, en particulier le canevas cartographique et la théorie des représentations planes de l'ellipsoïde, sur le point astronomique et l'astronomie de campagne, etc...

Recrutement du personnel du SGA : L'affectation des personnels militaires était prononcée par le Ministre lors des mutations annuelles du 25 septembre du personnel officier.

Tous les ans, vers le mois de décembre, paraissait dans les corps de troupe une note ministérielle enjoignant de faire connaître les officiers volontaires pour servir au SGA et à défaut d'en désigner d'office. Les candidats retenus effectuaient un stage de 3 semaines au SGA à Paris, vers le mois de mars ou d'avril à l'issue duquel ceux qui étaient sélectionnés partaient en brigade en France, ou revenaient à leur corps, pour être affectés au mois de septembre suivant. Ils conservaient leur Arme (Infanterie, Artillerie, Génie) au tableau de laquelle ils continuaient de figurer et ils étaient tenus pour concourir à l'avancement d'y effectuer en vue de chaque changement de grade, un temps de commandement de deux ans. Leur Arme les lâchait sans enthousiasme et leur faisait désormais grise mine ; on expliquait au volontaire que sa carrière militaire était désormais compromise, et qu'il ne devait compter sur aucun soutien.

Ce mode de recrutement présentait pourtant de gros avantages ; ne s'attachaient au SGA que des volontaires, séduits par le métier, désireux d'y consacrer leur activité, libres à chaque instant de retourner dans leur arme d'origine si le genre de vie ne leur convenait plus.

Le calendrier de l'observateur comportait une ou deux brigades d'observations par an :

- en hiver au Maroc ou au Levant
- en été en France

Le personnel militaire subalterne des brigades provenait d'une part d'une unité particulière affectée au SGA qui fournissait du personnel spécialisé

et son encadrement. Le reste du personnel était fourni par une unité militaire de circonstance, désignée par l'ordre ministériel adressée à la région des travaux (encadrement, soldats, moyens de transport, d'intendance, etc...). Le matériel spécialisé provenait des magasins du SGA qui en assurait l'entretien. Les missions outre-mer étaient parfois dangereuses, souvent dures, toujours rudes.

Exploitation des résultats : Un atelier de calculateurs civils spécialisés, héritiers d'une longue tradition, effectuait les calculs des réseaux de 1^{er} ordre. Très sûrs, très soigneux malheureusement trop peu nombreux (3 ou 4), ils travaillaient en permanence à la section de géodésie, sérail du sérail, placée directement sous les ordres du Chef de la Géodésie, où les jeunes officiers ne pénétraient qu'avec respect.

Les missions de détails étaient calculées au retour des brigades par les opérateurs ou par un collègue qui ne participait pas à la campagne suivante.

Le matériel : C'était le matériel classique, plus ou moins évolué suivant l'avancement de la technique des appareils :

- le cercle azimutal pour la triangulation de premier ordre ;

- le théodolite à microscope et ultérieurement le théodolite de Wild, T3, T2 pour les observations de détail ;

- le fil invar de 24 mètres pour la mesure des bases ;

- l'instrument des passages ou le cercle méridien pour les observations des coordonnées géographiques des points fondamentaux.

Les signaux de 1^{er} ordre étaient constitués par deux solides charpentes coaxiales dont l'une supportait l'appareil, l'autre l'observateur : ils coûtaient très cher, mais demeuraient sur place après les observations, permettant de l'utiliser pour les mesures de détail.

Les observations de 1^{er} ordre se faisaient de jour sur mire ou sur héliotropes ; on n'observait pratiquement pas la nuit, sauf quelques essais en 1938-1939.

Géodésies militaires : Le Service Géographique de l'Armée était bien entendu chargé de la préparation des documents nécessaires aux armées, sur le territoire national et sur les théâtres éventuels d'opérations.

Les principaux utilisateurs des données ou des calculs géodésiques étaient :

- l'artillerie d'une part ;

- l'Etat-Major en ce qui concernait la cartographie nécessaire à l'étude de ses plans d'opérations.

Le problème n'était simple ni dans un cas, ni dans l'autre.

L'instruction générale sur le tir de l'artillerie, (1936) fruit des enseignements de la première guerre, prévoyait une organisation topographique exigeante basée sur l'emploi des coordonnées rectangulaires. Le régiment divisionnaire, équipé des canons de 75, comprenait trois groupes. Chaque groupe centralisait la conduite du tir des trois bat-

teries de chacune quatre pièces qu'il dirigeait, de son "poste central de tir". La précision topographique requise était la suivante : les coordonnées de la première pièce d'une batterie devaient être connues au mètre près et le gisement du tube à 1/1000 près (environ 6 minutes centésimales), par rapport aux éléments définis par le poste central de tir.

Dès le temps de paix, le SGA avait étudié un système homogène de coordonnées susceptibles d'assurer une précision suffisante sur l'ensemble du théâtre probable des opérations et préparé des carnets de coordonnées (secrets), répertoires du canevas géodésique.

Le problème posé, simple en apparence, était complexe : pour constituer un système homogène il faut l'appuyer sur une triangulation de base, or, la nouvelle triangulation ne couvrait pas tout le territoire ; la région à l'Ouest de la méridienne de France en était dépourvue. D'autre part, la triangulation de détail basée sur le 1^{er} ordre de la nouvelle triangulation ne couvrait qu'une faible partie du théâtre probable des opérations, et le stock des cartes topographiques modernes ne concernait qu'une bande frontière étroite dont la figure ci-contre, extraite de (41) donne le tableau d'assemblage en 1938 : (fig. 62). Il fallait donc avoir recours dans les autres régions à la vieille carte au 1/80.000 de l'Etat-Major, ou à son amplification au 1/50.000 et exprimer le tout en un système homogène, compatible avec les carnets de coordonnées.

Autre difficulté, la carte au 1/50.000 type 1922, était basée sur la nouvelle triangulation alors que l'amplification au 1/50.000 de la carte de l'Etat-Major était appuyée sur l'ancienne triangulation des ingénieurs géographes, dont beaucoup de points avaient disparu et qui d'autre part, était on le rappelle, calculée sur un autre ellipsoïde et d'ailleurs non compensée quoique homogénéisée feuille par feuille, ce qui provoquait des discordances aux jonctions.

Enfin, la nouvelle triangulation, donc les feuilles alors levées de la nouvelle carte au 1/50.000, était calculée dans les nouveaux systèmes de projection Lambert (Nord, Centre, Sud) adoptées par le SGA vers 1920, alors que le stock de mobilisation de la carte ancienne au 1/50.000 était quadrillé en Lambert Nord de Guerre.

La question était encore plus compliquée, parce qu'il fallait également incorporer des triangulations étrangères de Belgique et d'Allemagne notamment.

Il fallut accomplir des prodiges d'ingéniosité pour trouver une solution admissible sinon satisfaisante. L'ordinateur n'existait pas à l'époque et n'aurait d'ailleurs pas tout résolu.

Finalement on décida d'adopter l'ancien système Nord de Guerre comme base générale du canevas d'artillerie. Dans ce but il fallait d'abord l'unifier en tâchant d'amortir les "cassures" aux jonctions des feuilles de l'ancienne triangulation en les répartissant de manière progressive à l'intérieur de chaque feuille par l'étude des discordances des coordonnées géographiques des points communs sur les bandes de recouvrement. L'expérience prouvait que lorsque les points étaient effectivement com-

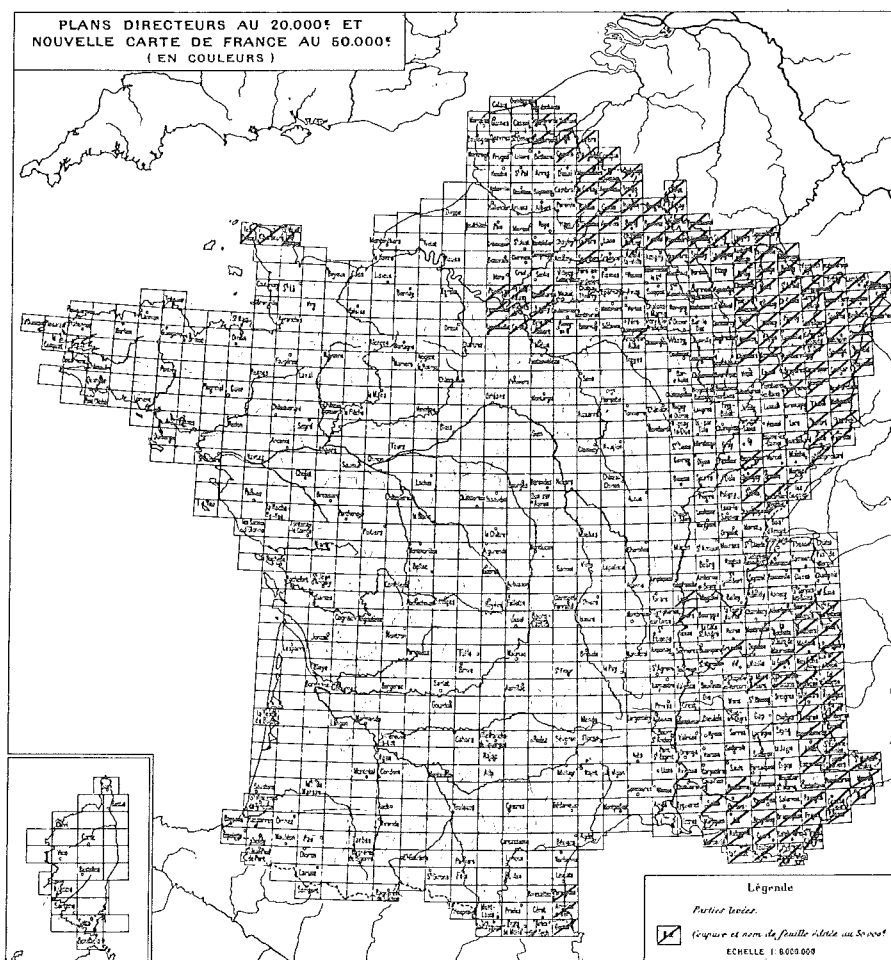


Fig. 62

État d'avancement des levés et de la publication de la nouvelle Carte de France au 50.000^e.

muns, les discordances prenaient une allure systématique que l'on pouvait interpoler voire extrapoler graphiquement et matérialiser par interpolation linéaire par des lignes d'égales corrections, étendues à toute la feuille à adapter — c'est ce qu'on appelait un abaque.

On était bien loin des méthodes de compensation rigoureuses des réseaux géodésiques mais l'expérience prouvait que, maniée avec discernement, cette cuisine assurait un canevas suffisant pour les tirs de l'artillerie.

On procéda de la manière suivante en travaillant sur les coordonnées géographiques.

1^e) Unification des cinq tables régionales à l'intérieur de chacune desquelles l'ancienne triangulation (AT) pouvait être considérée comme homogène. Des abaques de passage assurèrent l'homogénéité d'ensemble.

2^e) Incorporation à cet ensemble des coordonnées géographiques des points connus de la triangulation belge et de la triangulation allemande de la Landesaufnahme, et de la triangulation allemande d'Alsace-Lorraine (1873-1914).

3^e) Comparaison des points de la NT avec le bloc précédent, incorporation de tous les points NT par abaque de transformation générale et constitution d'une table dite Nord de Guerre 1937 permettant

la transformation de la NT, beaucoup plus dense, en un Nord de Guerre "unifié" apportant sur toute l'étendue un grand nombre de points supplémentaires.

Il restait encore de nombreux "blancs", Bade, Wurtemberg, Bavière, dont on ne connaissait pas les coordonnées géographiques, mais, là où il existait le système était suffisant pour l'artillerie.

Les cartes, bien entendu étaient revêtues du quadrillage Lambert homogénéisé. Ce système de base fut largement utilisé et généralisé par les armées alliées en 1944 et 1945 ; il couvrait finalement après plusieurs autres adaptations le théâtre complet des opérations alliées jusqu'au Sud de la Baltique. Curieuse fortune d'un système bricolé qu'avaient imposé l'existence d'importants stocks de cartes de mobilisation datant de la période 1930-1939 et l'avancement insuffisamment rapide de la nouvelle carte au 1/50000 (faute de crédits).

Les géodésiens français eurent toutefois la consolation d'apprendre en 1945 "qu'en face" la situation n'avait pas été meilleure, que les triangulations allemandes n'avaient été homogénéisées que très difficilement, et l'on comprendra ainsi l'avidité avec laquelle les services compétents des Etats recherchent les documents géodésiques étrangers pour leurs archives et leurs besoins éventuels.

Pour l'Etat-Major, le SGA avait été amené à étudier au début de l'année 1940 l'unification des systèmes géodésiques d'Europe Centrale en adaptant les triangulations primordiales de l'Empire Austro-Hongrois, de Yougoslavie, de Bulgarie, de Grèce pour constituer un système unique permettant une utilisation cartographique cohérente, base future d'un système de coordonnées "Lambert Danube" qui évidemment ne vit jamais le jour... Il fut même un instant question d'une cartographie du Caucase !

Les armées alliées profitèrent largement des travaux du SGA qui d'ailleurs depuis 1939 étaient menés en commun et je me souviens encore de l'hilarité incrédule avec laquelle les Anglais avaient accueilli initialement la méthode des abaques dont ils ne tardèrent pas à apprécier tous les avantages et la rapidité, au point qu'entre 1940 et 1945 ils la pratiquèrent avec virtuosité, sous le nom de "graphs" : "grand graph", "Undistorted Nord de Guerre", "Distorted Nord de Guerre", etc au Shaef (Supreme Headquarters of Allied Expeditionary Forces).

On comprendra aisément, à l'exposé de tous ces tâtonnements et de ces travaux expédiés que la paix revenue, la Direction de la Géodésie de l'Institut Géographique National ait voué tous ses efforts à exploiter rationnellement les travaux de terrain pour doter le pays d'un canevas géodésique sain, homogène, et unique.

Recherches géodésiques du SGA : Malgré leurs occupations sur le terrain, en France en Outre-Mer, les géodésiens du SGA eurent le temps de réfléchir à leur métier, d'en étudier les aspects théoriques ou expérimentaux et de proposer des solutions, des méthodes opératoires, des instruments originaux.

— Le nom de Cholesky s'attache à la méthode du double cheminement parallèle bien connue des niveleurs. Ce que l'on sait moins, c'est que l'algorithme de Cholesky, pour la résolution des systèmes symétriques linéaires qui interviennent dans la solution des problèmes de moindres carrés en géodésie ou ailleurs et qui est aujourd'hui utilisée par la plupart des programmeurs sous ce nom est dû au capitaine Cholesky du SGA tué en août 1918 ; elle fut publiée comme œuvre posthume en 1924 (Bulletin Géodésique) par Benoît son collègue, géodésien du Service Géographique d'Indochine.

— Ce même Benoît était d'autre part l'auteur des formules employées au SGA pour le calcul des coordonnées géographiques des points de triangulation de 1^{er} ordre sur l'ellipsoïde ; elles reposaient sur un traitement numérique original de formules géométriques de l'ellipsoïde. Celles-ci se présentent la plupart du temps sous la forme $A' = A + aA^3 + bB^2A$ ou A et B sont des infiniments petits du 1^{er} ordre, A une première approximation de A' , a , b , des coefficients numériques. Benoît les écrivait sous la forme :

$$A' = A (1 + aA^2 + bB^2)$$

qu'il calculait par logarithmes. Le développement des termes entre parenthèses prend la forme d'un

appoint logarithmique, qu'il suffit d'ajouter à $\log(A)$
 $\log A' = \log A + M(aA^2 + bB^2)$

M étant le module des logarithmes népériens. Les quantités $M aA^2$, $M bB^2$ étaient tabulées en fonction de A et B , d'où un calcul immédiat (43).

— J. Laborde de l'artillerie coloniale fut, de 1924 à 1928, le directeur du Service Géographique de Madagascar auquel il donna une vigoureuse impulsion. C'était un homme de grand bon sens en même temps qu'un mathématicien de classe. Une partie de ses œuvres, détenue par l'IGN, reste encore malheureusement inexplorée, mais on lui doit, en collaboration avec Driencourt un "Traité de projection à l'usage des cartographes et des géodésiens" (1930) en 4 tomes dont le dernier est son œuvre personnelle. Il est consacré à l'étude des projections conformes.

Laborde y développe la théorie générale de ces projections, définit et donne des équations aux dérivées partielles régissant les isométriques, lignes dont le coefficient d'échelle est constant — et les isomorphes, trajectoires orthogonales des précédentes, définit les courbures de ces lignes en un point de la représentation (formules dites de Scholz-Laborde) et précise les corrections permettant le passage de l'arc à la corde et réciproquement.

Il montre qu'en conservant toute la précision nécessaire (le centimètre ou le millimètre en position) la projection conforme peut avec avantage se substituer aux calculs sur l'ellipsoïde. Ce sont ces considérations qui l'avaient guidé pour établir la projection rigoureusement conforme originale qu'il a calculée pour Madagascar, où elle est en service depuis 1928. Ses vues ont été adoptées universellement.

— P. Tardi, disciple fidèle de G. Perrier, publie en 1933 un premier "Traité de Géodésie" que tous les jeunes géodésiens du SGA ont bien connu. Ouvrage très clair — Tardi était un professeur remarquable — où il expose en détail les connaissances de base nécessaires, décrit les instruments et les méthodes en usage au SGA, établit les résultats fondamentaux, expose la manière de s'en servir (nombreux exemples numériques), etc...

On lui doit à cette époque d'intéressantes recherches sur les méthodes de mesures angulaires de haute précision, il prône en particulier un retour à la méthode de répétition, par application de la méthode dite de répétition fractionnée, conçoit un support répétiteur sur lequel repose le cercle réitérateur et fait construire des cercles répétiteurs selon ses conceptions. Tout ceci fonctionnait parfaitement et il est très dommage que les circonstances (guerre 1939-1945) n'aient pas favorisé l'exploitation rationnelle de ses idées : la méthode de répétition fractionnée, praticable avec les appareils réitérateurs était excellente et présentait presque tous les avantages de la répétition sans en avoir les inconvénients ; il est également dommage que certaines de ses recommandations aient été perdues de vue (référence du tour d'horizon étrangère aux directions des visées principales) (43).

C'était également un homme de contacts internationaux comme nous le verrons plus loin.

Il sera élu à l'Académie des Sciences en 1956.

GRAVIMETRIE

Jusqu'à 1930 les mesures gravimétriques effectuées en France ou à l'Etranger par des géodésiens français se réduisaient, depuis Defforges, à un petit nombre de liaisons relatives avec le pendule de Defforges ou l'appareil de Mioni dont le SGA s'était rendu acquéreur : le Mioni est un appareil dans lequel deux pendules identiques et isochrones oscillent en opposition de phase dans le même plan vertical sur le même support, ce qui a pour effet d'annuler la correction dite d'entraînement du support difficile à évaluer correctement.

Ces mesures étaient très clairsemées et G. Perrier s'inquiétait du retard français.

En 1930 se produit un fait nouveau. Dans une communication à l'Académie des Sciences P. Lejay décrivait son "pendule inversé" qui pendant dix ans allait être l'appareil fondamental des gravimétristes français.

Le R.P. Pierre Lejay (1898-1958) de la Compagnie de Jésus, après son noviciat et son ordination, avait fait de solides études de physique et d'astronomie, à l'issue desquelles il fut désigné pour l'Observatoire de la Compagnie à Zi Ka Wei (près de Pékin). Il en prendra plus tard la direction.

Son pendule inversé oscille comme un métro-
nome : il est constitué par une très légère tige de quartz sur laquelle se trouve une masselote fixe ; la tige de quartz est fixée à son extrémité inférieure par une fine lame d'elinvar, acier dont le coefficient d'élasticité ne varie pratiquement pas avec la température. Les forces agissantes sont alors la résultante de la pesanteur sur la tige au point G, le couple de torsion de la lame élastique et dans ses conditions la période T du pendule est (fig. 63) :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{C - Mgl}}$$

(I moment d'inertie, C moment du couple de torsion, l la distance OG).

On voit aisément que la variation relative de la période, $\frac{dT}{T}$ est égale à :

$$\frac{1}{2} \times \frac{Mgl}{C - Mgl} \times \frac{dg}{g}$$

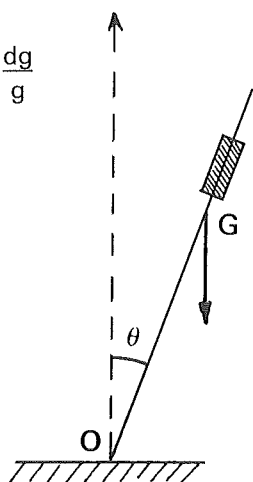


Fig. 63

(ce serait $1/2 dg/g$ pour un pendule simple) par conséquent pour des valeurs bien choisies de C la variation de la période en fonction de la pesanteur est multipliée par un facteur très supérieur à l'unité, on peut obtenir des coefficients d'amplification de l'ordre de 200. En définitive si on étalonne le gra-

vimètre sur deux points connus, ce qui déterminera les constantes I/Ml , C/Ml on aura un pendule qui en 20 minutes permettra de connaître g avec une bonne précision, sous réserve de la constance de C (élinvar) avec un simple chronographe donnant le $1/10$ de seconde.

La construction et le réglage du gravimètre étaient évidemment très délicats. C'est le physicien Holweck, assassiné par la Gestapo, qui le réalisa sous forme d'un appareil très transportable de maniement aisé, et tenant à peu près la précision du milligal, comme le montre le test suivant relevé sur un circuit en Normandie, parcouru plusieurs fois (CRADS 1933) rapporté à une valeur de $g = 980.943$ au point origine (Observatoire de Paris).

Couterne	980.9175	980.9195	980.9175		980.917
La Barbère	980.903	980.902	980.902	980.902	980.903

D'autres vérifications furent entreprises, la principale avait consisté à restationner un certain nombre de stations internationales de référence déjà connues, rattachées entre elles et au point fondamental de Potsdam, par des mesures pendulaires relatives antérieures. En voici quelques résultats (différences en milligals soit environ 10^{-6}).

Uccle	Bâle	Lausanne	Florence	Rome
+ 2	- 3	+ 1	- 1	- 2

Une campagne systématique avait également été menée par Nörlund (Danemark) avec le même succès ; l'appareil donnait bien la précision du milligal et la conservait. Il était très portable.

L'instrument fut amplement utilisé pour des campagnes gravimétriques systématiques en France, au Proche-Orient, en Indochine, en Chine, aux Philippines, etc... par le RP Lejay lui-même, infatigable voyageur. Il s'agissait moins à l'époque de constituer un réseau mondial de référence que d'étudier les variations de la pesanteur dans certaines régions, d'y construire des cartes d'anomalies (anomalies de Bouguer, anomalies isostatiques). Ces cartes matérialisent en effet la différence entre la valeur théorique de la pesanteur sur l'ellipsoïde de référence et la pesanteur "vraie" c'est-à-dire mesurée et convenablement corrigée des reliefs et éventuellement de la correction isostatique — et par conséquent d'en étudier les fluctuations régionales et d'en induire, si les cartes sont suffisamment étendues, certaines corrélations d'ordre tectonique.

En France, R. Goudey de l'Observatoire de Besançon exécutait un grand nombre de missions, complémentaires de celles de Lejay, et Lagrula, de l'Observatoire d'Alger, commençait en Afrique du Nord, les premières mesures d'un réseau qu'il développera avec patience et continuité, en Algérie, en Tunisie.

C'est vers cette époque (1928) que F. Vening-Meinesz (Pays-Bas) avait mis au point sa méthode de mesure de la pesanteur en mer, par temps calme ; à bord de sous-marin en faible immersion et l'avait appliquée avec un grand succès, dans la zone des Indes néerlandaises — aujourd'hui l'Indo-

nésie. Cet appareil comportait 3 pendules sur le même support dans le même plan ; les deux pendules extérieurs oscillant en opposition de phase, le pendule médian servait de témoin de stabilité. On démontre dans ces conditions que la période résultante de la combinaison des 3 pendules est indépendante des accélérations horizontales du support.

On pouvait donc envisager de couvrir le monde entier de mesures de pesanteur et par conséquent de pouvoir connaître la forme du géoïde par application de la formule de Stokes : travail immense en perspective.

Tout ceci explique l'importance croissante qu'attacheront les géodésiens à l'élaboration d'une couverture gravimétrique mondiale dont la guerre interrompra l'exécution, mais dont le projet était déjà à l'ordre du jour. P. Lejay en sera, avec J. de Graaff — Hunter (G.B. Survey of India), W. Heiskanen (Finlande), W. Lambert (USA), F.A. Vening-Meinesz (Pays-Bas) l'un des grands promoteurs.

ASTRONOMIE GEODESIQUE

Les premières émissions horaires de la Tour Eiffel (1910) ouvraient de telles perspectives à la navigation et à la détermination des longitudes astronomiques que l'exemple ne tarda pas à être suivi.

Il parut dès lors nécessaire de coordonner toute cette activité un peu brouillonne et d'en tirer le meilleur profit. En 1912, le Bureau des Longitudes proposait une conférence internationale qui aboutit à la réunion d'une Commission Internationale de l'Heure (1913). Celle-ci proposa la création auprès de l'Observatoire de Paris d'un Bureau International de l'Heure (B.I.H) chargé de la détermination de l'Heure du méridien origine (Greenwich) en confrontant les observations d'un grand nombre d'Observatoires, de sa conservation et de sa diffusion. L'Observatoire de Paris se mit immédiatement à l'ouvrage sans attendre la publication d'un acte de naissance officiel que la déclaration de guerre et les hostilités devaient différer cinq ans.

C'est seulement en juillet 1919, qu'il fut officiellement créé et installé à Paris, à l'Observatoire, en tant que Service International dépendant du Conseil International de Recherches. La tâche définie en 1913 était confirmée et précisée.

Le BIH sera pendant longtemps l'organisme scientifique expert dans la mesure du temps et sa définition, à la pointe du progrès tant en pratique qu'en théorie. Il joua un rôle fondamental en géodésie, astronomie de position, navigation. L'Union astronomique internationale (UAI) et l'Union Géodésique et Géophysique Internationale (UGGI) étaient au premier chef intéressées à ses résultats et lui versaient une subvention annuelle.

Opérations internationales des longitudes :

En 1921, à l'initiative du Général Ferrié, le Bureau des Longitudes étudiait un projet qu'il avait déjà évoqué avant la première guerre mondiale. Il proposait l'établissement d'un réseau international de positions géographiques astronomiques d'un certain nombre de points du globe, auxquels on pourrait régionalement se rattacher.

Les émissions de signaux horaires permettaient d'escompter une très bonne précision dans la détermination des longitudes. L'UAI et l'UGGI examinèrent le projet et l'approuvèrent (1922). Les directives communes furent élaborées et discutées en 1925 et la première opération internationale des longitudes fut décidée pour l'automne 1926. Le B.I.H en assurait le Secrétariat.

Le programme principal se proposait d'opérer en priorité sur trois groupes d'observatoires fondamentaux.

- Alger, Zi Ka Wei, San Diego
- Greenwich, Tokyo, Vancouver, Ottawa
- Manille, Honolulu, San Diego, Washington

Les observatoires du premier groupe étaient sensiblement à la même latitude et équidistants en longitude.

Il était stipulé que :

— on devrait y déterminer l'heure locale à l'aide d'instruments méridiens munis de micromètres impersonnels, et rapporter les observations à la pendule astronomique fondamentale ;

— le catalogue d'étoiles d'Eichelberger serait le catalogue de référence ;

— les signaux horaires seraient reçus et enregistrés sur chronographe ;

— des observations à l'astrolabe à prisme doubleraient les observations méridiennes.

Des instructions très détaillées précisaient le travail des stations fondamentales. D'autre part, toutes les stations locales qui le désiraient pouvaient participer individuellement aux travaux, une quarantaine environ s'y inscrivent.

Les signaux horaires étaient émis par Bordeaux, Honolulu, Saïgon, Annapolis.

Après une longue préparation au cours de laquelle les observateurs purent s'entraîner, l'opération débutait le 1^{er} octobre 1926 et se terminait le 1^{er} décembre suivant. Une étude détaillée des résultats est présentée dans (49).

Retenons celui qui nous paraît essentiel : les différences de longitudes des observatoires fondamentaux observés deux à deux, indépendamment, donnèrent les résultats suivants :

1 ^{er} groupe	Zi Ka Wei-Alger	7 h 53 mn 34 s 362 ± 0 s 004
	San Diego-Zi Ka Wei	8 h 5 mn 28 s 731 ± 0 s 003
	Alger - San Diego	8 h 0 mn 56 s 900 ± 0 s 002
		23 h 59 mn 59 s 993

Le deuxième groupe donnait de même :

2 ^e groupe	Greenwich-Ottawa	5 h 2 mn 51 s 932
	Ottawa-Vancouver	3 h 9 mn 36 s 414
	Vancouver-Tokyo	6 h 29 mn 21 s 550
	Tokyo-Greenwich	9 h 18 mn 10 s 111
		24 h 00 mn 00 s 007

La vitesse de propagation des ondes longues (kilométriques) résultant de la comparaison des heures de réception d'un même signal en deux stations différentes ressortait à 247.000 km/s \pm 9000. Elle était nettement inférieure à la vitesse de la lumière.

Le succès de la 1^{re} opération encouragea astronomes et géodésiens à reprendre l'expérience sept ans plus tard. Des directives générales furent élaborées par le Général Ferrié : on désirait dans cette opération faire le point des progrès réalisés dans la rigueur des mesures (émission, réception, observation) et éventuellement mettre en évidence des variations significatives dans la différence des longitudes, autrement dit tester la théorie de la dérive des continents de Wegener.

Certains pensaient que pour ce but le délai était insuffisant, mais Wegener lui-même ayant postulé des déplacements annuels de l'ordre de plusieurs mètres, par exemple entre Ecosse et Groenland, la précision déjà atteinte de quelques millièmes de seconde de temps dans la mesure des différences de longitude aurait pu mettre le phénomène en évidence : 1/1000 de seconde de temps correspond à un déplacement relatif de 0,45 m Cos L (L latitude).

Le Général Ferrié mourut sur ces entrefaits (1932) ; le Général G. Perrier lui succéda à la tête de l'organisation.

On prévoit sensiblement les mêmes groupes que précédemment auxquels on ajouta un groupe dans l'hémisphère sud :

Le Cap, Adelaïde, Wellington, Buenos-Aires

Des variations saisonnières ayant été décelées dans les vitesses de propagation des ondes (longues et courtes) on décida que les observations seraient reprises à la même époque de l'année, du 1^{er} octobre au 1^{er} décembre 1933.

Les méthodes d'observation furent minutieusement étudiées, le catalogue Eichelberger conservé.

Nous donnons ci-dessous, extraits de (50) les comparaisons entre stations principales des trois groupes communes aux deux opérations :

	1926	1933	
Alger	0 h 12 mn 8 s 527	0 h 12 mn 8 s 456	E
Zi Ka Wei	8 h 52 mn 42 s 893	8 h 52 mn 42 s 886	W
San Diego	7 h 48 mn 48 s 374	7 h 48 mn 48 s 433	W
Greenwich	0 h 00 mn 00 s	0 h 00 mn 00 s	origine
Ottawa	5 h 2 mn 51 s 948	5 h 2 mn 51 s 909	W
Vancouver	8 h 12 mn 28 s 380	8 h 12 mn 28 s 273	W
Tokyo	9 h 18 mn 10 s 100	9 h 18 mn 10 s 111	E
Marseille	8 h 3 mn 54 s 712	8 h 3 mn 54 s 767	E
Honolulu	10 h 30 mn 55 s 279	10 h 30 mn 55 s 255	W
Washington	5 h 8 mn 15 s 751	5 h 8 mn 15 s 751	W
Paris	0 h 9 mn 20 s 913	0 h 9 mn 20 s 946	E

Des différences très appréciables entre les deux opérations sont visibles, mais, dans (50) N. Stoyko, successeur de A. Lambert, mort en déportation, concluait au vu d'une discussion très serrée que "la dérive des continents, si elle existe, doit être du même ordre de grandeur que la précision des déterminations de longitudes et que dans tous les cas, les erreurs sont supérieures aux valeurs des déplacements..." car après analyse très poussée des résultats, station par station, il montrait que l'erreur d'une longitude, qui ressortait en apparence à \pm 0 s 007 était au contraire de l'ordre de \pm 0 s 024 (50)... Quoi qu'il en soit l'opération avait permis de connaître la précision réelle des déterminations de longitudes.

La vitesse de propagation des ondes hertziennes fut trouvée égale à :

250.000 \pm 3.000 Km/s (ondes longues)

274.000 \pm 4.000 Km/s (ondes courtes)

Variations saisonnières de la vitesse de rotation terrestre :

En 1937, N. Stoyko, étudiant au Bureau International de l'Heure la marche des horloges de très haute précision d'un certain nombre d'Observatoires (Paris, Washington) et des horloges à quartz de la Physikalische Technische Reichsanstalt constata que chaque année, du mois de juin au mois de novembre, ces horloges prenaient peu à peu une certaine avance sur le temps observé par les services horaires des observatoires alors que de novembre à juin s'établissait une compensation en sens inverse ; le phénomène se reproduisait sur plusieurs années consécutives.

Il en conclut que la vitesse de rotation terrestre, base de la définition des temps, n'était pas uniforme par rapport au temps des meilleures horloges et qu'elle subissait des variations saisonnières dont l'amplitude totale annuelle était de l'ordre de quelques centièmes de seconde, ce qui au point de vue quotidien du mouvement diurne entraînait une variation maximale de l'ordre de 0 s. 0005 au moment du maximum.

Cette variation est évidemment liée aux phénomènes atmosphériques saisonniers (fontes des glaces polaires, moussons, circulation des vents, etc...) mais c'était un signal parmi d'autres, que pour définir le temps t de la mécanique — celui qui entre par exemple dans les équations de définition de la dynamique — à la précision exigée par les réalisations modernes, il fallait recourir à d'autres phénomènes que celui de la rotation terrestre postulée jusque-là comme uniforme... le problème d'une nouvelle définition de la seconde était donc posé.

Malheureusement la 2^e guerre mondiale s'annonçait. L'activité des géodésiens fut à nouveau accaparée par d'autres sujets plus urgents. Le massacre général allait reprendre sur une toute autre échelle.

Bibliographie

(1) *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences Tome VII - 1666-1695.*

(2) J.-B. Delambre : *Grandeur et Figure de la Terre* Publié par les soins de G. Bigourdan.

- (3) J.-B. Delambre : *Histoire de l'Astronomie, Astronomie moderne - Tome III.*
- (4) L. Gallois : *l'Académie des Sciences et les origines de la Carte de Cassini - Annales de géographie - 1909 n° 99.*
- (5) R. Taton : *J. Picard et la mesure de l'arc du Méridien Paris-Amiens - Colloques internationaux du CNRS - n° 590. La découverte de la France au XVII^e siècle.*
- (6) Colonel Berthaud : *la carte de France 1780-1898. Service géographique de l'Armée - 1898.*
- (7) J.-J. Levallois : *la détermination du rayon terrestre par J. Picard en 1669-1671 - Bulletin géodésique - Volume 57 - 1983.*
- (8) *Annuaire du Bureau des Longitudes - 1974.*
- (9) A. Danjon et A. Couder : *Lunettes et Télescopes A. Blanchard - Paris.*
- (10) La Hire : *Traité du Nivellement par M. Picard de l'Académie des Sciences, avec une relation de quelques nivellements faits par ordre du Roy... mis en lumière par les soins de M. de La Hire.*
- (11,n) *Mémoires ou Histoire de l'Académie des Sciences (année N).*
- (12) J. Cassini : *Traité de la grandeur et de la Figure de la Terre (1723).*
- (13) Cassini de Thury : *La méridienne de l'Observatoire Royal de Paris vérifiée dans toute l'étendue du Royaume (1744).*
- (14) Cassini de Thury : *Description géométrique de la France (1780).*
- (15) Maupertuis : *Œuvre de M. de Maupertuis (4 tomes).*
- a) *Discours sur les différentes figures des astres.*
b) *Mesure de la terre au cercle polaire.*
c) *Relation du voyage fait par ordre du Roi au cercle polaire, pour déterminer la figure de la Terre.*
- (16) Authier : *Journal d'un voyage au Nord en 1736 et 1737.*
- (17) P. Bouguer : *La figure de la Terre, déterminée par les observations de MM. Bouguer et La Condamine.*
- (18,a) Ch. de La Condamine : *Journal d'un voyage fait par ordre du Roi à l'Equateur.*
- (18,b) Ch. de La Condamine : *Mesure des trois premiers degrés du Méridien dans l'hémisphère austral.*
- (19) Florence Trystram : *Le procès des étoiles - Seghers 1979.*
- (20) Cl. Clairaut : *Théorie de la figure de la Terre tirée de l'Hydrostatique.*
- (21) J.-J. Levallois : *Géodésie générale (tome III).*
- (22) J. Svanberg : *Exposition des opérations faites en Laponie, pour la détermination d'un arc de Méridien en 1801, 1802 et 1803.*
- (23) J. Leinberg : *Über die Ergebnisse der Maupertuischen Gradmessung in Lappland (CR de la quatrième séance de la Commission géodésique Baltique - 1929).*
- (24,n) J. Delambre : *Les bases du système métrique décimal (3 tomes).*
- (25) G. Bigourdan : *Le système métrique des Poids et Mesures.*
- (26,n) F. Tisserand : *Traité de Mécanique Céleste (tome n).*
- (27) Todhunter : *History of the theories of Attraction and of the Figure of the Earth.*
- (28,n) Laplace : *Traité de mécanique céleste (livre a).*
- (29) G. Perrier : *Petite histoire de la géodésie.*
- (30,n) *Mémorial du Dépôt de la Guerre (tome n).*
- (31) *CR des séances du Bureau des Longitudes (1807-1809).*
- (32) Best et Arago : *Recueil d'observations géodésiques et astronomiques exécutées par ordre du Bureau des Longitudes.*
- (33) Ch. Berthaut : *Les ingénieurs Géographes Militaires.*
- (34) L. Puissant : *Traité de géodésie - 3^e édition - 1842.*
- (35) Breton de Champ : *Traité de Nivellement.*
- (36) L. Puissant : *Traité de Topographie, d'Arpentage et de Nivellement.*
- (37) B. Pascal : *Œuvres complètes - Edition de la Pléiade.*
- (38) G. Darboux : *Eloge historique de François Perrier (AdS).*
- (39) G. Bigourdan : *Le Bureau des Longitudes (Annuaire de 1928-1929-1930-1931-1932-1933).*
- (40) Bassot : *Bulletin de la Société de géographie. La Géodésie française (1891).*
- (41) *Le Service géographique de l'Armée - Son histoire, son organisation, ses travaux. Imprimerie du SGA (1938).*
- (42) *Le Nivellement général de la France de 1878 à 1926 - Ch. Lallemand - E. Prévot.*
- (43) P. Tardi et G. Laclavère : *Traité de géodésie (1955) tome II - Astronomie géodésique de Précision.*
- (44,n) *Bureau des Longitudes. Encyclopédie Scientifique de l'Univers. Volume n ; n = 1. La terre, les eaux, l'atmosphère.*
- (45,n) *Bulletin Astronomique, année n.*
- (46) R. P. Pierre Lejay : *Développements modernes de la gravimétrie.*
- (47,n) *Comptes rendus annuels des travaux du Service Géographique de l'Armée.*
- (48) *Service géographique de l'Armée ; la Carte de l'Empire Colonial Français.*
- (49) A. Lambert — *La révision des longitudes mondiales (1929) (octobre-novembre 1926).*
- (50) N. Stoyko — *La deuxième opération des longitudes mondiales — Résultats... Conclusions.*

EQUIMAT *international*

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

Connectable à toutes les stations totales électroniques, le carnet électronique SDR 2 est un véritable ordinateur de terrain, clef d'une Topographie informatisée de pointe

◀ SET 2

S.A.V

6 Agents régionaux

**16 Avenue de la République
78600 Le Mesnil le Roi
Tél. (1) 39.62.35.28**

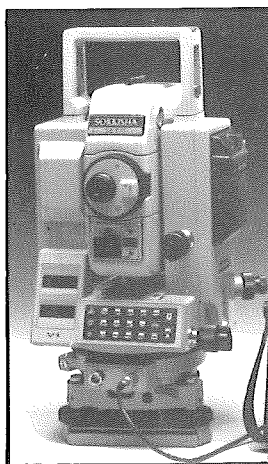
◀ SDR 2 carnet électronique



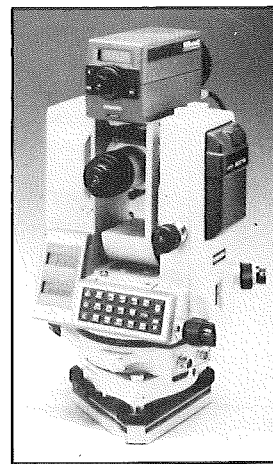
LES COORDONNÉES DU FUTUR



SET 3



SET 4



THEODOLITE
ELECTRONIQUE
DT2
+ RED MINI 2

Réduction des longueurs

par Raymond d'HOLLANDER, Ingénieur Général Géographe

1. Introduction

On sait que les longueurs mesurées selon la pente du terrain reçoivent avant d'être introduites dans les calculs topométriques une triple correction :

- 1) réduction à l'horizontale ;
- 2) réduction à l'ellipsoïde de référence ;
- 3) correction due à l'altération linéaire du système de projection utilisé.

Il ne sera question ici que des deux premières réductions. La réduction à l'ellipsoïde de référence ne présente pas de difficultés particulières : on peut l'effectuer soit à partir de la distance réduite à l'horizontale, soit directement à partir de la distance selon la pente du terrain.

Mais lorsqu'on a besoin de la dénivelée entre le point de station et le point visé on a l'habitude de calculer la distance réduite à l'horizontale.

On peut faire cette opération :

- soit à la surface du niveau du point de station A (chapitre 2) ;
- soit à la surface du niveau d'altitude moyenne entre le point de station A et le point visé B (chapitre 3).

Nous verrons que l'utilisation des instruments de mesure électromagnétique des distances impose une certaine rigueur dans les calculs de réduction à l'horizon, dès que les distances mesurées atteignent plusieurs kilomètres, surtout lorsque les angles d'inclinaison sont élevés.

Nous verrons que dans ce cas les formules habituellement utilisées en topométrie entraînent sur l'obtention de la distance réduite à l'horizon (que nous désignerons par $(Dh)_{app.}$) des erreurs nettement plus élevées que les erreurs de mesure avec les instruments modernes de mesure électromagnétique des distances.

Il est évident que l'erreur sur la distance horizontale se répercute sur la distance homologue sur l'ellipsoïde, puis sur la distance en projection. Il paraît utile d'attirer sur ce point l'attention des utilisateurs de ces instruments et aussi celle des constructeurs.

Nous supposons que l'on opère en France et que l'on ne dépassera pas des visées de l'ordre de 4 km (exceptionnellement 5 km), ni des angles d'inclinaison supérieurs à 6,5 gr. Pour avoir l'ordre de grandeur de certains termes nous prendrons comme valeur limite :

$$i \approx 6,4 \text{ gr} \approx \frac{1}{10} \text{ rd}$$

La densité du canevas géodésique français : 1 point géodésique tous les 3 à 5 kilomètres justifie l'hypothèse dans laquelle nous nous plaçons.

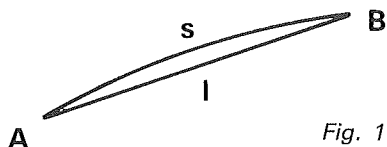


Fig. 1

Compte tenu du fait que les distances mesurées sont inférieures à 5 km, on peut sans erreur sensible remplacer la longueur de la visée épousant la courbure terrestre par la corde correspondante. On sait en effet (fig. 1) que la

différence entre l'arc de courbe infinitésimal : $AB = s$, de rayon de courbure moyen $R \approx 6\,367 \text{ km}$ et la corde \overline{AB} ($AB = l$), correspondante, est donnée par

$$s - l \approx \frac{s^3}{24 R^2}$$

Pour $s = 5 \text{ km}$, $s - l = \frac{5^3}{24 \times 6367^2} = 1,28 \times 10^{-7} \text{ km}$ soit $1,28 \times 10^{-4} \text{ m}$, soit environ $\frac{1}{10} \text{ mm}$, ce qui est

négligeable. Il sera donc commode dans certains cas (fig. 3 et 5) de remplacer la longueur AB par la longueur de la corde correspondante \overline{AB} .

Notations

Soit $Dp = AB$, la distance mesurée selon la pente du terrain.

Soit i l'angle d'inclinaison ou de site observé en A (fig. 2), la visée est supposée unilatérale.

Soit h_A la hauteur du point de station A au-dessus de l'ellipsoïde de référence, hauteur supposée connue (fig. 3).

Soit h_B la hauteur visé B au-dessus de l'ellipsoïde de référence, qu'il faudra calculer (fig. 3).

Ces hauteurs au-dessus de l'ellipsoïde de référence seront pour le moment assimilées à des altitudes, donc hauteur au-dessus du géoïde. Nous reviendrons sur cette question au chapitre 4.

Soit l , le point d'altitude moyenne entre A et B (fig. 3 et 4) : $h_l = \frac{h_A + h_B}{2}$

Soit Δh la dénivelée entre A et B ; $\Delta h = h_B - h_A$; on en déduit $\frac{\Delta h}{2} = h_B - h_l = h_l - h_A$

Soient A_o et B_o les projections de A et B sur l'ellipsoïde de référence (fig. 3 et 5) et soit R_o le rayon de courbure moyen de la section normale de l'ellipsoïde entre A_o et B_o .

Soient A'' et B'' les projections de A et B sur la surface de niveau passant par l (fig. 4) et soit R_l le rayon de courbure moyen de la section normale de cette surface entre A'' et B'' .

Soit B' la projection de B sur la surface de niveau passant par A (fig. 2 et 4) et soit R_A le rayon de courbure moyen de la section normale de cette surface entre A et B' ; on a donc : $R_A = R_l - \frac{\Delta h}{2}$

Soit A' la projection de A sur la surface de niveau passant par B (fig. 4) et soit R_B le rayon de courbure moyen de la section normale de cette surface entre A' et B ; on a donc :

$$R_B = R_l + \frac{\Delta h}{2}$$

Soit Dh_A la distance réduite à l'horizon du point de station A : $Dh_A = \overline{AB'}$ (fig. 2).

Soit $Dh_{(AB)}$ la distance réduite à l'horizon du point l : $Dh_{(AB)} = \overline{A''B''}$ (fig. 4).

Soit D_o la distance réduite à l'ellipsoïde de référence : $D_o = \overline{A_oB_o}$ (fig. 5).

Soit ρ l'angle de réfraction en A correspondant aux "conditions moyennes" de réfraction ; on sait que :

$$\rho = \frac{0,08 Dh}{R_A}$$

Soit i' l'angle d'inclinaison de la visée AB corrigée de la réfraction : $i' = i - \rho$ (fig. 2).

Soit NA la correction de niveau apparent concernant la dénivellée entre A et B, correction regroupant les corrections de sphéricité terrestre et de réfraction dans les "conditions moyennes". On sait que :

$$NA = \frac{1 - 0,16}{2} \frac{Dh^2}{R_A} = 0,42 \frac{Dh^2}{R_A}$$

Soit enfin ω l'angle des deux verticales en A et B.

2. Réduction à l'horizontale

2.1 Réduction à l'horizontale du point de station pour des visées de longueur inférieure à 1 400 m

La distance réduite à l'horizon de A, en toute rigueur $\widehat{AB'}$ est généralement calculée par $(Dh_A)_{app} = Dp \cos i$. Or, il faudrait faire intervenir l'angle i' corrigé de la réfraction pour obtenir AH. Pour obtenir AH, l'erreur commise est :

$$\epsilon_1 = Dp \cos i - Dp \cos i'$$

Or $i' = i - \rho$ et $\cos i' = \cos(i - \rho) = \cos i + \rho \sin i$

$$\epsilon_1 = - Dp \rho \sin i \text{ avec } \rho = 0,08 \frac{Dh_A}{R_A} \approx 0,08 \frac{Dp \cos i}{R_A}$$

$$\text{Soit } \epsilon_1 = - \frac{0,08 Dp^2 \sin i \cos i}{R_A} = - \frac{0,04}{R_A} Dp^2 \sin 2i$$

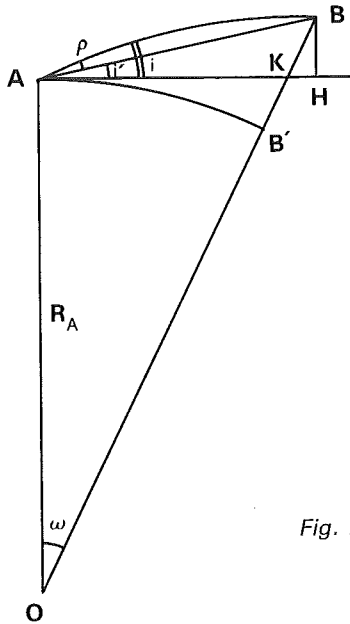


Fig. 2

Si on fait $R_A = 6\,367\text{ km}$ et si on évalue Dp en km, l'erreur commise est en km :

$$\epsilon_1 = - 6,28 \times 10^{-6} \times Dp^2 \times \sin 2i$$

Dans le cas extrême où $i = 6,5\text{ gr}$ et $Dp = 1,4\text{ km}$, $\epsilon_1 = - 2,5 \times 10^{-6}\text{ km}$, soit $- 2,5 \times 10^{-3}\text{ m}$.

Bien que l'erreur commise soit faible, nous apporterons cependant à la distance $(Dh_A)_{app}$ la correction C_1 de signe contraire à ϵ_1 et de même valeur absolue.

En effet :

$$Dp \cos i' = Dp \cos i - \epsilon_1 = (Dh_A)_{app} - \epsilon_1 = (Dh_A)_{app} + C_1$$

Il y a donc une première correction :

$$C_1 = + \frac{0,04}{R_A} Dp^2 \times \sin 2i$$

$$AH = Dp \cos i' = (Dh_A)_{app} + C_1$$

Mais la distance réduite cherchée est en toute rigueur $\widehat{AB'}$. Pour passer de AH à $\widehat{AB'}$ on passe par l'intermédiaire de AK, K étant le point de rencontre de OB et de AH.

On effectue une 2^e correction : $C_2 = - KH$ de sorte que $AK = AH - KH = AH + C_2$; puis une 3^e correction : $C_3 = AK - \widehat{AB'}$

Montrons que cette 3^e correction est négligeable.

$$AK = R_A \tan \omega \approx R_A \left(\omega + \frac{\omega^3}{3} \right)$$

$$\widehat{AB'} = R_A \omega.$$

$$AK - \widehat{AB'} = R_A \frac{\omega^3}{3} \approx R_A \frac{Dh^3}{3R_A^3} \approx \frac{Dh^3}{3R_A^2}$$

Pour $Dh = 1\,400\text{ m}$ valeur limite et pour $R_A = 6\,367\,000\text{ m}$ on obtient $C_3 = 2,26 \times 10^{-5}\text{ m}$, valeur tout à fait négligeable.

Calculons la 2^e correction, $C_2 = - KH$. Écrivons pour cela que les deux triangles KHB et KAO sont semblables :

$$\frac{KH}{HB} = \frac{AK}{R_A} = \frac{AK + KH}{R_A + HB} = \frac{AH}{R_A + HB}$$

Remplaçons HB par $Dp \sin i'$ et AH par $Dp \cos i'$; il vient :

$$\begin{aligned} C_2 &= - KH = - \frac{Dp \sin i' \times Dp \cos i'}{R_A + Dp \sin i'} \\ &= - Dp^2 \times \frac{\sin 2i'}{2R_A \left(1 + \frac{Dp}{R_A} \sin i' \right)} \\ &\approx - Dp^2 \frac{\sin 2i'}{2R_A} \left(1 - \frac{Dp}{R_A} \sin i' \right) \end{aligned}$$

Dans le cas extrême, $Dp = 1\,400\text{ m}$, $i' = 6,5\text{ gr}$, le terme :

$\frac{Dp^3}{2R_A^2} \times \sin 2i' \sin i' = + 6,99 \times 10^{-7}\text{ m}$ est tout à fait négligeable, de sorte que :

$$C_2 \approx Dp^2 \frac{\sin 2i'}{2R_A} = - Dp^2 \frac{(\sin 2i - 2\rho \cos 2i)}{2R_A}$$

Dans le terme : $\frac{Dp^2 \times 2\rho \cos i}{R_A}$, remplaçons par sa valeur $0,08 Dp \frac{\cos i}{R_A}$

On obtient : $0,08 Dp^3 \frac{\cos 2i \cos i}{R_A^2} = 5,27 \times 10^{-6}\text{ m}$,

Ce terme est donc aussi négligeable. Il reste donc :

$$C_2 = - \frac{Dp^2 \times \sin 2i}{2R_A} = - 0,5 \frac{Dp^2}{R_A} \sin 2i$$

Au total, il y a lieu d'apporter la correction :

$$C = C_1 + C_2 = \frac{Dp^2 \sin 2i}{R_A} (0,04 - 0,5)$$

$$C = - 0,46 Dp^2 \frac{\sin 2i}{R_A}$$

La distance réduite à l'horizon est de façon quasi-rigoureuse :

$$1) \widehat{AB'} = Dh_A (Dh_A)_{app} + C$$

$$\widehat{AB'} = Dp \cos i - 0,46 Dp^2 \times \frac{\sin 2i}{R_A}$$

Le tableau ci-après indique la valeur en cm de la correction à apporter à la distance approchée $(Dh_A)_{app}$ pour obtenir la distance $\widehat{AB'} = Dh_A$ quasi-rigoureuse. On a pris la valeur $R_A = 6\,367\,000\text{ m}$.

Tableau I

i (gr)	Dp (m)	400	500	600	700	800	900	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400
0,5		- 0,02	- 0,03	- 0,04	- 0,06	- 0,07	- 0,09	- 0,11	- 0,14	- 0,16	- 0,19	- 0,22
1,0		- 0,04	- 0,06	- 0,08	- 0,11	- 0,14	- 0,18	- 0,23	- 0,27	- 0,33	- 0,38	- 0,44
1,5		- 0,05	- 0,09	- 0,12	- 0,17	- 0,22	- 0,28	- 0,34	- 0,41	- 0,49	- 0,58	- 0,67
2,0		- 0,07	- 0,11	- 0,16	- 0,22	- 0,29	- 0,37	- 0,45	- 0,55	- 0,65	- 0,77	- 0,89
2,5		- 0,09	- 0,14	- 0,20	- 0,28	- 0,36	- 0,46	- 0,57	- 0,69	- 0,82	- 0,96	- 1,11
3,0		- 0,11	- 0,17	- 0,24	- 0,33	- 0,44	- 0,58	- 0,68	- 0,82	- 0,91	- 1,15	- 1,33
3,5		- 0,13	- 0,20	- 0,29	- 0,39	- 0,51	- 0,64	- 0,79	- 0,96	- 1,14	- 1,34	- 1,55
4,0		- 0,14	- 0,23	- 0,33	- 0,44	- 0,58	- 0,73	- 0,91	- 1,10	- 1,30	- 1,53	- 1,77
4,5		- 0,16	- 0,25	- 0,37	- 0,50	- 0,65	- 0,82	- 1,02	- 1,23	- 1,47	- 1,72	- 2,00
5,0		- 0,18	- 0,28	- 0,41	- 0,55	- 0,72	- 0,92	- 1,13	- 1,36	- 1,63	- 1,91	- 2,21
5,5		- 0,20	- 0,31	- 0,45	- 0,61	- 0,79	- 1,01	- 1,24	- 1,50	- 1,79	- 2,10	- 2,43
6,0		- 0,22	- 0,34	- 0,49	- 0,66	- 0,87	- 1,10	- 1,35	- 1,64	- 1,95	- 2,29	- 2,65
6,5		- 0,23	- 0,37	- 0,53	- 0,72	- 0,94	- 1,19	- 1,47	- 1,77	- 2,11	- 2,48	- 2,87

Le trait épais en escalier sépare les zones du tableau pour lesquelles, lorsqu'on prend la formule approchée $(Dh_A)_{app} = Dp \cos i$, l'erreur commise est inférieure à 0,5 cm, de celle pour laquelle l'erreur commise est supérieure ou égale à 0,5 cm.

Application numérique :

$Dp = AB = 1\,240,82$ m

$i = 5,4725$ gr

$h_A = 62,5$ m, $R_0 = 6\,367\,000$ m

$R_A = R_0 + h_A = 6\,367\,062,5$ m

On voit dans le tableau que pour $Dp = 1\,200$ m, la correction dépasse $- 0,49$ cm dès que l'angle du site est supérieur à 1,50 gr. Il y a donc lieu de calculer la correction:

$$C = - 0,46 Dp^2 \times \frac{\sin 2i}{R_A} = - 0,019 \text{ m}$$

$$(Dh_A)_{app} = Dp \cos i = 1235,164 \text{ m}$$

$$Dh_A = (Dh_A)_{app} + C = 1235,145 \text{ m}$$

2.2 Réduction à l'horizontale du point d'altitude moyenne entre A et B

(visée de 1400 m à 4600 m)

2.2 Etablissement des formules de réduction rigoureuses

Soit \overline{AB} la visée corrigée de la réfraction, de site i'

Soit I le point d'altitude moyenne $h_I = \frac{h_A + h_B}{2}$

Les verticales de A et de B rencontrent l'ellipsoïde en A_0 , B_0 et la surface de niveau passant par I en $A''B''$.

Comme nous l'avons justifié dans l'introduction, assimilons les courbes $\overline{A_0B_0}$ et $\overline{A''B''}$ respectivement sections normales de l'ellipsoïde et de la surface de niveau passant par I, à leurs cordes A_0B_0 et $A''B''$.

Désignons par a le pied de la perpendiculaire abaissée de A sur $A''B''$ et par b le pied de la perpendiculaire abaissée de B sur $A''B''$.

On recommande en général d'effectuer la réduction à l'horizon du point I, ce qui correspond au segment $A''B''$.

On estime que les longueurs $A''a$ et $B''b$ sont égales, de sorte que $A''B'' = ab = Dp \cos i'$; en outre, on ne tient pas compte de la réfraction; on assimile i' à i et on écrit $Dh_{AB} = Dp \cos i$. On commet de ce fait deux sortes d'erreurs, sensibles lorsque les visées ont une grande longueur et sont fortement inclinées.

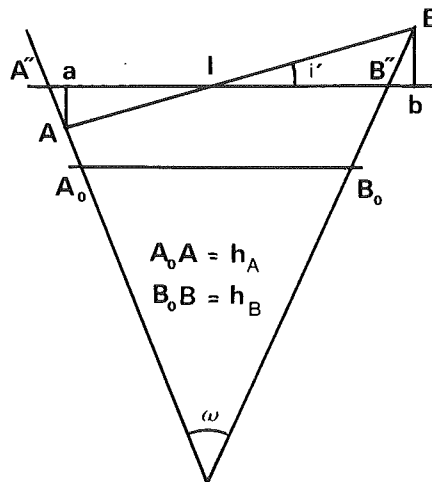


Fig. 3

1) La relation $A''a = B''b$ n'est plus satisfaite.

2) L'assimilation de i' à i entraîne une erreur supplémentaire non négligeable; en effet, nous avons vu en 2.1 qu'à 1 400 m on obtenait de ce fait une erreur: $\epsilon_1 = - 2,5$ mm, mais cette erreur croissant comme le carré de la distance, on obtiendra à: 4 200 m = 1 400 m $\times 3$, une erreur 9 fois plus grande, soit $- 2,25$ cm.

Pour traiter correctement le problème, assimilons à 3 cercles les sections par le plan vertical de AB des trois surfaces de niveau passant par A, B et I; la faible portée de AB (de l'ordre de 4 km) permet en effet de considérer que

On sait que $R_A = R_l - \frac{\Delta h}{2}$, $R_B = R_l + \frac{\Delta h}{2}$

La formule 7) est à utiliser lorsqu'on connaît la mesure selon la pente D_p , la formule 8) est à utiliser lorsqu'on connaît les coordonnées de A et de B en projection. De la distance en projection, on déduit la distance $D_o = A_o B_o$ sur l'ellipsoïde (correction de signe contraire à celui de l'altération linéaire), puis la distance D_{hAB} par la formule 12 ci-après.

2) La figure 5 permet de mettre en évidence le fait que, contrairement à ce que semble indiquer la fig. 3, les segments $A''a$ et $B''b$ ne sont pas égaux.

Partons de la figure 4 qui comporte un angle ω et des dénivelées $\frac{\Delta h}{2}$ très exagérées.

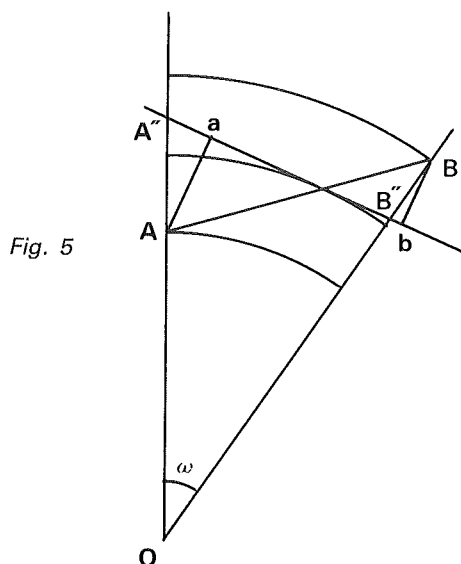


Fig. 5

Considérons la tangente en I au cercle de rayon R_i . Soient A'' et B'' les intersections avec les verticales de A et de B. Abaissons sur cette tangente de A et de B les perpendiculaires en a et b (voir fig. 5).

On constate sur cette figure aux éléments exagérés une différence élevée entre les segments $A''a$ et $B''b$.

2.2.2. Calcul de la correction à apporter à la distance approchée D_{pcosi} pour obtenir la distance rigoureuse.

Cette correction est : $C = D_{pcosi} (i' + \frac{\omega}{2}) - D_{pcosi}$

avec $i' = i - \rho$ et $\rho = 0,08 \frac{Dh}{R_A}$, $\frac{\omega}{2} = \frac{Dh}{2R_A}$

$$D_p \cos (i' + \frac{\omega}{2}) = D_p \cos [i + \frac{Dh}{R_A} (0,5 - 0,08)]$$

$$D_p \cos (i' + \frac{\omega}{2}) = D_p \cos (i + 0,42 \frac{Dh}{R_A})$$

En appliquant la formule de Taylor au 2^e membre :

$$D_p \cos (i' + \frac{\omega}{2}) = D_p \cos i - 0,42 \frac{Dh}{R_A} D_p \sin i$$

$$- \frac{0,42^2}{2} \frac{Dh^2}{R_A^2} D_p \cos i + \dots$$

$$\text{Le terme : } - \frac{0,42^2}{2} D_p \frac{Dh^2}{R_A^2} \cos i = - \frac{0,42^2}{2} \frac{Dp^3}{R_A^2} \cos^2 i$$

vaut dans le cas extrême, pour $D_p = 5000$ m : $- 2,72 \times 10^{-4}$ m ; il est donc négligeable.

Il en résulte que $C \approx - 0,42 D_p \frac{Dh}{R_A} \sin i$. En remplaçant

Dh par $D_p \cos i$, on a :

$$9) C \approx - 0,21 \frac{Dp^2}{R_A} \sin 2i$$

Tableau II donnant les corrections en cm à apporter à la valeur approchée $D_{h(AB)} = D_{pcosi}$ lorsqu'on veut obtenir la distance rigoureuse réduite à l'horizon du point I d'altitude moyenne entre A et B

D_p (m) i (gr)	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600
0,50	- 0,1	- 0,1	- 0,2	- 0,2	- 0,3	- 0,3	- 0,35	- 0,4	- 0,5	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,1
1,00	- 0,2	- 0,3	- 0,4	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,7	- 0,8	- 0,9	- 1,1	- 1,2	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 1,8	- 2,0	- 2,2
1,50	- 0,3	- 0,4	- 0,5	- 0,6	- 0,8	- 0,9	- 1,0	- 1,2	- 1,4	- 1,6	- 1,8	- 2,0	- 2,2	- 2,5	- 2,7	- 3,0	- 3,3
2,00	- 0,4	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 1,0	- 1,2	- 1,4	- 1,6	- 1,9	- 2,1	- 2,4	- 2,7	- 3,0	- 3,3	- 3,7	- 4,0	- 4,4
2,50	- 0,5	- 0,7	- 0,8	- 1,0	- 1,3	- 1,5	- 1,7	- 2,0	- 2,3	- 2,6	- 3,0	- 3,4	- 3,7	- 4,1	- 4,6	- 5,0	- 5,5
3,00	- 0,6	- 0,8	- 1,0	- 1,2	- 1,5	- 1,8	- 2,1	- 2,4	- 2,8	- 3,2	- 3,6	- 4,0	- 4,5	- 5,0	- 5,5	- 6,0	- 6,6
3,50	- 0,7	- 0,9	- 1,2	- 1,4	- 1,7	- 2,1	- 2,4	- 2,8	- 3,3	- 3,7	- 4,2	- 4,7	- 5,2	- 5,8	- 6,4	- 7,0	- 7,7
4,00	- 0,8	- 1,1	- 1,3	- 1,6	- 2,0	- 2,4	- 2,8	- 3,2	- 3,7	- 4,2	- 4,8	- 5,4	- 6,0	- 6,6	- 7,3	- 8,0	- 8,7
4,50	- 0,9	- 1,2	- 1,5	- 1,9	- 2,2	- 2,7	- 3,1	- 3,6	- 4,2	- 4,7	- 5,4	- 6,0	- 6,7	- 7,4	- 8,2	- 9,0	- 9,8
5,00	- 1,0	- 1,3	- 1,7	- 2,1	- 2,5	- 3,0	- 3,5	- 4,0	- 4,6	- 5,3	- 6,0	- 6,7	- 7,5	- 8,3	- 9,1	- 10,0	- 10,9
5,50	- 1,1	- 1,5	- 1,8	- 2,2	- 2,7	- 3,3	- 3,8	- 4,5	- 5,1	- 5,8	- 6,6	- 7,3	- 8,2	- 9,1	- 10,0	- 11,0	- 12,0
6,00	- 1,2	- 1,6	- 2,0	- 2,5	- 3,0	- 3,6	- 4,2	- 4,8	- 5,6	- 6,3	- 7,1	- 8,0	- 8,9	- 9,9	- 10,9	- 12,0	- 13,1
6,50	- 1,3	- 1,7	- 2,2	- 2,7	- 3,2	- 3,9	- 4,5	- 5,2	- 6,0	- 6,8	- 7,7	- 8,7	- 9,7	- 10,7	- 11,8	- 12,9	- 14,2

La correction toujours négative du tableau II ci-dessus a été calculée en utilisant la formule 9) ci-dessus avec la valeur $R_A = 6367$ km. Le trait épais en escalier sépare la zone pour laquelle l'erreur commise en prenant la formule approchée est inférieure à 1 cm, de celle pour laquelle l'erreur commise est supérieure à 1 cm. On peut à la rigueur se dispenser de calculer la correction ci-dessus en effectuant une double interpolation dans le tableau II ci-dessus.

2.2.3 Calcul de la corde A''B'' à partir de la corde AB

Nous avons vu dans l'introduction qu'on peut, sans erreur sensible, remplacer les arcs $\widehat{A''B''}$ et \widehat{AB} par les cordes correspondantes. Dans le triangle isocèle $OA''B''$ (fig. 5) le côté $A''B'' = Dh_{AB}$, les côtés $OA''OB''$ sont égaux à R_i de sorte qu'en appliquant la relation :

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A, \text{ on a :}$$

$$Dh_{AB}^2 = 2R_i^2 - 2R_i^2 \cos \omega$$

Dans le triangle AOB, le côté $AB = Dp$, le côté $OA =$

$$R_i - \frac{\Delta h}{2}, \text{ le côté } OB = R_i + \frac{\Delta h}{2}, \text{ d'où :}$$

$$Dp^2 = (R_i - \frac{\Delta h}{2})^2 + (R_i + \frac{\Delta h}{2})^2 - 2(R_i + \frac{\Delta h}{2})(R_i - \frac{\Delta h}{2}) \cos \omega$$

En égalant les deux expressions de $\cos \omega$ dans les deux relations ci-dessus, on a :

$$\frac{2R_i^2 - Dh_{AB}^2}{2R_i^2} = 1 - \frac{Dh_{AB}^2}{2R_i^2} = \frac{(R_i - \frac{\Delta h}{2})^2 + (R_i + \frac{\Delta h}{2})^2 - Dp^2}{2(R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4})}$$

$$\frac{Dh_{AB}^2}{2R_i^2} = \frac{2(R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4})^2 - (R_i - \frac{\Delta h}{2})^2 - (R_i + \frac{\Delta h}{2})^2 + Dp^2}{2(R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4})}$$

$$\frac{Dh_{AB}^2}{R_i^2} = \frac{2R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{2} - R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4} + R_i \Delta h - R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4} - R_i \Delta h + Dp^2}{R_i^2 - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

$$\frac{Dh_{AB}^2}{R_i^2} = \frac{Dp^2 - \frac{\Delta h^2}{4}}{R_i^2 (1 - \frac{\Delta h^2}{4R_i^2})}, \text{ d'où :}$$

$$10) Dh_{AB}^2 = \frac{Dp^2 - \frac{\Delta h^2}{4}}{1 - \frac{\Delta h^2}{4R_i^2}}$$

Δh étant bien entendu dans cette formule calculé en tenant compte de la correction de niveau apparent.

2.2.4 Application numérique

Données : $Dp = 4383,157$ m, $h_A = 720,80$ m
Site observé $i = 6,3457$ gr, $R_o = 6367000$ m

Une telle visée n'a pas un caractère exceptionnel en zone montagneuse.

On demande de calculer la distance réduite à l'horizon du point I d'altitude moyenne $h_i = \frac{h_A + h_B}{2}$

On demande aussi de calculer la dénivelée par la formule 7).

2.2.4.1 Calculs préliminaires

a) Distance approchée $(Dh_{AB})_{app} = Dp \cos i = 4361,400$ m

b) $R_A = R_o + h_A = 6367720,80$ m.

c) Calcul classique de la dénivelée Δh entre A et B :
 $\Delta h = Dp \sin i + NA$; $NA = \frac{0,42 Dh_{AB}^2}{R_A} = 1,255$ m

$Dp \sin i = 436,18$ m d'où $\Delta h = 436,18$ m + 1,255 m = 437,435 m.

On en déduit $h_B = h_A + \Delta h = 720,80 + 437,435 = 1158,235$ m

d) $R_i = R_A + \frac{\Delta h}{2} = 6367720,80 + 218,7175 = 6307939,5175$ m

et $R_B = R_A + \Delta h = 6367720,80 + 437,435 = 6368158,235$ m

e) $\rho = 0,08 \frac{Dh_{AB}}{R_A} = 5,479386 \times 10^{-5} \text{ rd} = 0,00349$ gr

f) $i' = i - \rho = 6,3457 - 0,0035 = 6,3422$ gr

g) $\sin \omega = \frac{Dp \cos i'}{R_B}$, d'où $\omega = \arcsin \frac{Dp \cos i'}{R_B}$
 $= \arcsin \frac{4383,157 \times \cos 6,3422 \text{ gr}}{6368158,236}$

$\omega = 6,8487998 \times 10^{-4} \text{ rd} = 0,0436$ gr

$\frac{\omega}{2} = 0,0218$ gr ; $i' + \frac{\omega}{2} = 6,3640$ gr

2.2.4.2 Calcul de Dh_{AB} rigoureux

Quatre solutions peuvent être envisagées :

a) application de la formule 5) : $Dh_{AB} = Dp \cos (i' + \frac{\omega}{2})$

On trouve : $Dh_{AB} = 4383,157 \times \cos 6,3640 \text{ gr} = 4361,2746$ m

b) application de la formule 2) ; $Dh_{AB} = R_i \omega$

On trouve : $Dh_{AB} = 4361,2743$ m

c) calcul à partir de $(Dh_{AB})_{app} = Dp \cos i$, en y apportant la correction c donnée par 9).

$$C = -0,21 \frac{Dp^2}{R_A} \sin 2i$$

On trouve $C = -0,21 \frac{4383,157^2}{6367720,80} \times \sin 12,6914 \text{ gr}$

$C = -0,1255$ m

$Dh_{AB} = Dp \cos i + C = 4361,400 - 0,1255$
 $Dh_{AB} = 4361,2745$ m

d) calcul par la formule 10) $Dh_{AB}^2 = \frac{Dp^2 - \frac{\Delta h^2}{4}}{1 - \frac{\Delta h^2}{4R_i^2}}$

On trouve $Dh_{AB} = 4361,2746$ m

On remarquera la concordance à quelques dixièmes de mm près des 4 résultats obtenus en a, b, c, d.

On remarquera en outre que la distance rigoureuse diffère de **12,5 cm** de la distance approchée $Dh_{AB} =$

Le numérateur du 2^e membre est de la forme :
 $2uv - u^2 - v^2 + Dp^2$, que l'on peut écrire :
 $Dp^2 - (u - v)^2$, d'où :

$$Do^2 = \frac{Dp^2 - (h_A - h_B)^2}{(Ro + h_A)(Ro + h_B)} = \frac{Dp^2 - \Delta h^2}{\left(1 + \frac{h_A}{Ro}\right)\left(1 + \frac{h_B}{Ro}\right)}$$

$$14) Do^2 = \frac{Dp^2 - \Delta h^2}{\left(1 + \frac{h_A}{Ro}\right)\left(1 + \frac{h_B}{Ro}\right)}$$

Application numérique

Prenons toujours l'application du n° 2.2.4 :

$Dp = 4383,157$ m,
 $h_A = 720,80$ m, $h_B = 1158,235$ m.

On trouve en appliquant la formule 14) :
 $Do = 4360,630$ m, qui diffère d'un millimètre des résultats obtenus en 3.2 et 3.3.

Remarque

On sait que :

$$\frac{Do}{Ro} = \frac{Dh_{AB}}{R_i} \text{ En différentiant :}$$

$$\frac{dDo}{Ro} = \frac{dDh_{AB}}{R_i}$$

Comme Ro et R_i ont des valeurs voisines, on a pratiquement : $dDo \approx dDh_{AB}$.

Si on commet une erreur sur Dh_{AB} , on commet la même erreur sur Do , erreur qui se répercute sur la distance en projection et sur tous les calculs topométriques ultérieurs. On a vu, dans l'application du n° 2.2.4, qu'on commettait en prenant $(Dh_{AB})_{app} = Dp$ c'est-à-dire une erreur de 12,5 cm ; cette erreur se répercutera donc dans toute la suite des calculs.

4. Précision avec laquelle doivent être connus Ro et h_A pour obtenir un résultat correct dans la réduction des distances.

4.1 Erreur sur Dh_{AB} en fonction d'erreurs sur h_A et sur Ro .

Reprenons la formule 10)

$$Dh_{AB}^2 = \frac{Dp^2 - \Delta h^2}{1 - \frac{\Delta h^2}{4R_i^2}}$$

$$\text{Or } R_i = Ro + h_A + \frac{\Delta h}{2}$$

Si on commet une erreur dh_A sur h_A et dRo sur Ro , on peut se demander quelle sera l'influence de l'erreur : $dR_i = dh_A + dRo$ sur la valeur de Dh_{AB} .

En prenant la différentielle logarithmique de 10)

$$\frac{2dDh_{AB}}{Dh_{AB}} = - \frac{\Delta h^2}{4} \times \frac{2dR_i}{R_i^3 \left(1 - \frac{\Delta h^2}{4R_i^2}\right)} \approx - \frac{\Delta h^2}{2} \frac{dR_i}{R_i^3}$$

$$dDh_{AB} = - \frac{1}{4} Dh_{AB} \times \frac{\Delta h^2 dR_i}{R_i^3}$$

L'erreur sur h_A ne saurait excéder quelques dizaines de mètres et même si on prend $dRo = 100$ km = 10^5 m, soit $dR_i \approx 10^5$ m, on obtient même dans les cas extrêmes une erreur dDh_{AB} tout à fait négligeable, de l'ordre de 10^{-7} m pour $Dh_{AB} = 5000$ m et pour $\Delta h = 500$ m.

Ainsi l'imprécision sur h_A et sur Ro n'a pratiquement aucune répercussion sur la précision de Dh_{AB} .

4.2 Erreur sur Do en fonction de l'erreur sur h_A

a) Cas où l'on passe par l'intermédiaire de Dh_{AB}

Rappelons la formule 13) $Do \approx Dh_{AB} \left(1 - \frac{h_L}{Ro}\right)$

Comme $h_L = h_A + \frac{\Delta h}{2}$ et comme on suppose ne pas commettre d'erreur sur Δh :

$$dh_L = dh_A$$

En différentiant 13) $dDo \approx - Dh_{AB} \frac{dh_L}{Ro}$, d'où :

$$15) dDo \approx - Dh_{AB} \frac{dh_A}{Ro}$$

b) Cas où l'on passe directement de Dp à Do

Reprenons la formule 14).

$$Do^2 = \frac{Dp^2 - \Delta h^2}{\left(1 + \frac{h_A}{Ro}\right)\left(1 + \frac{h_B}{Ro}\right)}$$

En prenant la différentielle logarithmique :

$$2 \frac{dDo}{Do} = \frac{- \frac{dh_A}{Ro}}{1 + \frac{h_A}{Ro}} - \frac{\frac{dh_B}{Ro}}{1 + \frac{h_B}{Ro}}$$

Comme $h_B = h_A + \Delta h$ et qu'il n'y a pas d'erreur sur Δh , $dh_B = dh_A$. En se limitant à la partie principale :

$$16) dDo \approx - Do \frac{dh_A}{Ro}$$

Les formules 15) et 16) donnent des résultats quasi-identiques car $\frac{Do}{Ro}$ et $\frac{Dh_{AB}}{Ro}$ sont des petites quantités pratiquement égales.

Supposons que nous voulions obtenir sur Do une incertitude $|\Delta Do| < 0,5$ cm.

$|\Delta Do| = \frac{Do}{Ro} |\Delta h_A|$. Pour que $|\Delta Do| < 0,5$ cm, il faut

que :

$$|\Delta h_A| \leq 0,5 \times 10^{-2} \times \frac{Ro}{Do}$$

Dans l'application numérique du n° 2.2.3 :

$Do = 4360,631$ m.

$$|\Delta h_A| \leq 0,5 \times 10^{-2} \times \frac{6\,367\,000}{4360,631}$$

$$|\Delta h_A| \leq 7,3 \text{ m}$$

Si on avait une distance Do de longueur extrême 5 000 m, il faudrait $|\Delta h_A| \leq 6,37$ m.

Si on avait une distance Do de longueur 2 180 m, moitié de 4 360 m, il faudrait $|\Delta h_A| < 14,6$ m.

Rappelons que dans l'introduction, nous avons assimilé la hauteur au-dessus de l'ellipsoïde à l'altitude (donc au-dessus du géoïde). La carte ci-dessous figure, en courbes de niveau d'équidistance 1 m, la surface du géoïde par rapport à l'ellipsoïde de Clarke 1880, qui sert de surface de référence aux calculs de la triangulation française. On constate qu'à l'ouest de la ligne Forbach Bayonne l'altitude du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde ne dépasse pas 4 m. Cette quantité étant inférieure à l'incertitude 6,37 m mise en évidence pour une longueur de visée extrême 5 000 m, il n'y a pas lieu de tenir compte des dénivelées entre ellipsoïde et géoïde à l'ouest de la ligne Forbach Bayonne.

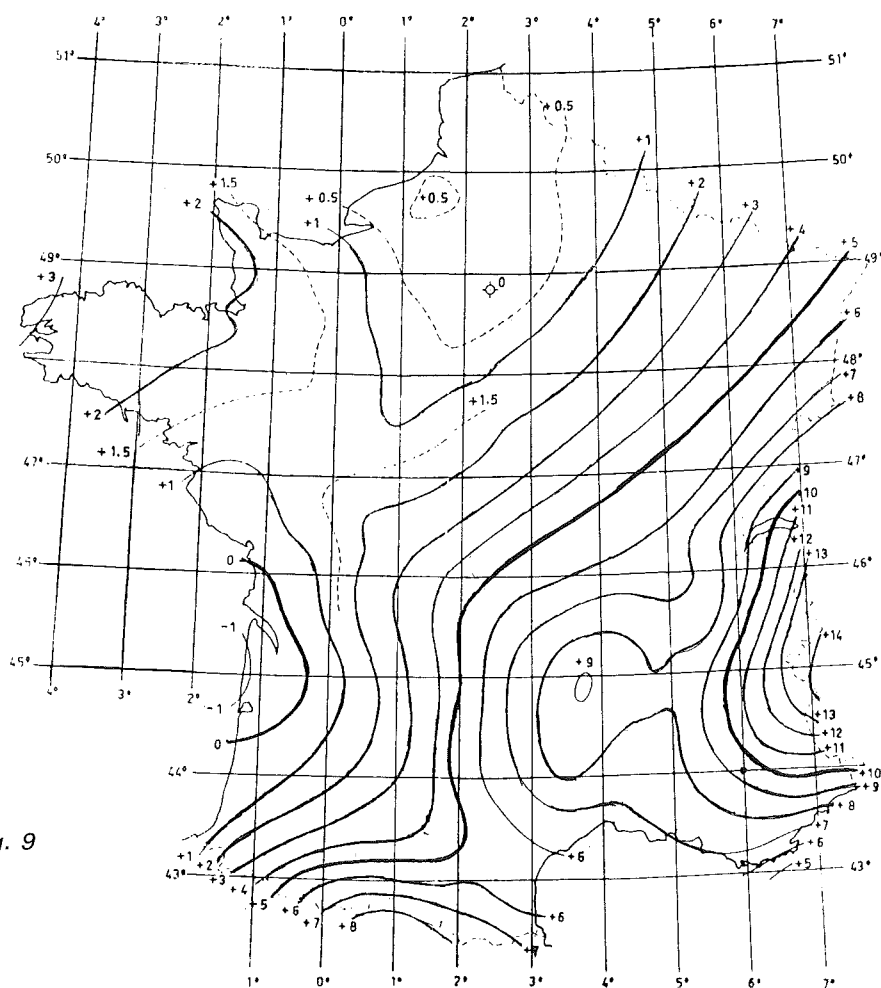
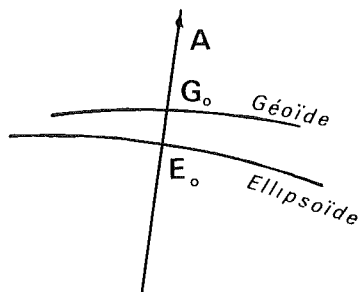


Fig. 9

Si pour de telles longues visées, on se trouve à l'est de la ligne Forbach-Bayonne, on pourra utiliser la carte du géoïde ci-dessus, dans laquelle le réseau des méridiens et parallèles géographiques a été tracé de degré en degré par rapport au méridien international de Greenwich. Il suffit de connaître à une fraction de degré près la longitude et la latitude du point de station pour pouvoir interpoler l'altitude du géoïde. Par exemple pour le point A situé à la longitude 6° est de Greenwich et de latitude 44°, on interpole 9,5 m.

Fig. 10



Pour avoir en ce point la hauteur $EoA = h_A$ du point de station au-dessus de l'ellipsoïde, il suffira d'ajouter à l'altitude $Z_A = GoA$ (au-dessus du géoïde) la quantité ainsi mise en évidence :

$$h_A = EoA = GoA + EoGo \text{ (fig. 10)}$$

$$h_A = Z_A + 9,5 \text{ m}$$

On constate sur la carte qu'en aucun point du territoire français la différence entre ellipsoïde et géoïde ne dépasse 14 m. Or nous avons vu que pour une visée de 2 180 m, il suffirait, pour garder la précision du demi-centimètre, d'avoir $|\Delta h_A| \leq 14,6 \text{ m}$.

Il en résulte que pour des visées de longueur inférieure à environ 2 250 m, on pourra sur l'ensemble du territoire français confondre hauteur au-dessus de l'ellipsoïde h , et altitude Z . Ce faisant, on ne commettra pas d'erreur supérieure à 0,5 cm.

4.2 Erreur sur Do en fonction de l'erreur sur Ro

a) Cas où l'on passe par l'intermédiaire de Dh_{AB}

Différentions la formule 13) par rapport à Ro :

$$17) dDo \approx \frac{Dh_{AB} \times h_l}{Ro^2} dRo$$

b) Cas où l'on passe directement de Dp à Do

Reprenons la formule 14), dont nous prendrons la différentielle logarithmique par rapport à Ro .

$$2 \frac{dDo}{Do} = \frac{h_A \frac{dRo}{Ro^2}}{1 + \frac{h_A}{Ro}} + \frac{h_B \frac{dRo}{Ro^2}}{1 + \frac{h_B}{Ro}}$$

dont la partie principale est :

$$\frac{dDo}{Do} \approx \frac{dRo}{Ro^2} \left(\frac{h_A + h_B}{2} \right); \text{ comme } h_l = \frac{h_A + h_B}{2} \text{ on a :}$$

$$18) dDo \approx \frac{Do \times h_1}{Ro^2} dRo$$

Les formules 17) et 18) donnent les résultats quasi-identiques puisque les petites quantités $\frac{Dh_{AB} \cdot h_1}{Ro^2}$ et $\frac{Doh_1}{Ro^2}$ sont pratiquement égales.

Application numérique

Reprenons l'application numérique du n° 2.2.3 où $Do = 4360,631$ m,

$$h_1 = h_A + \frac{\Delta h}{2} = 720,80 + \frac{437,435}{2}$$

$$h_1 = 939,52 \text{ m}$$

$$Ro = 6\,367\,000 \text{ m}$$

Supposons qu'on ait $dRo = 50 \text{ km} = 50\,000 \text{ m}$

$$\text{On trouve } dDo = \frac{4360,631}{6\,367\,000^2} \times 939,52 \times 50\,000$$

$$\text{soit } dDo = 0,005 \text{ m}$$

La petitesse de dDo justifie parfaitement que l'on prenne pour Ro le rayon de courbure moyen terrestre : $Ro = 6\,367 \text{ km}$. Il est absolument inutile, comme on le fait en géodésie, de calculer le rayon de courbure de la section normale de l'ellipsoïde par la relation d'Euler.

5. Cas de visées zénithales réciproques

Les formules que nous avons démontrées :

$$5) Dh_{AB} \approx Dp \cos \left(i' + \frac{\omega}{2} \right)$$

$$7) \Delta h \approx Dp \sin \left(i' + \frac{\omega}{2} \right)$$

$$8) \Delta h \approx Dh_{AB} \tan \left(i' + \frac{\omega}{2} \right)$$

concernent le cas d'une visée unilatérale, où l'on a stationné le point A et où l'angle de site observé est positif ; dans ce cas $i' = i - p$.

Lorsque l'angle de site observé i est négatif, il est facile de voir qu'il faut dans les formules précédentes remplacer $i' + \frac{\omega}{2}$ par $\frac{\omega}{2} - |i'|$, expression dans laquelle

$$|i'| = |i| + p$$

Supposons qu'on ait à la fois A et B, réalisant ainsi des visées réciproques. Soient Z_A et Z_B les distances zénithales mesurées, Z'_A et Z'_B les distances zénithales corrigées de la réfraction.

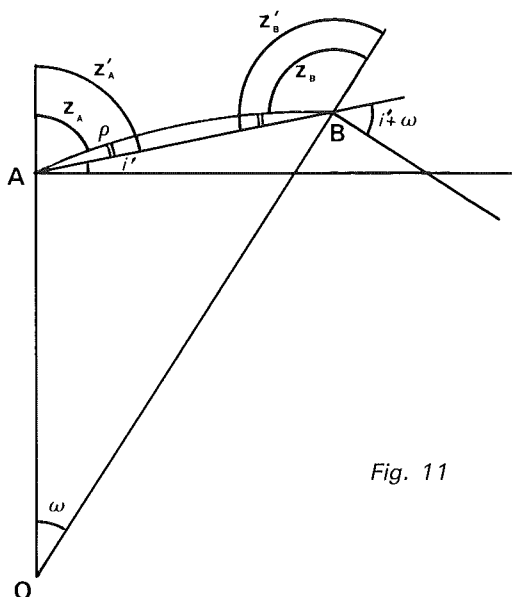


Fig. 11

$$Z'_A = Z_A + \rho$$

$$Z'_B = Z_B + \rho$$

Si les visées sont à la fois **réciproques et simultanées** on peut admettre qu'on a le même angle de réfraction en A et B, d'où la relation : $Z'_B - Z'_A = Z_B - Z_A$

On remarque sur la fig. 11 que : $i' = \frac{\pi}{2} - Z'_A$

$$i' + \frac{\omega}{2} = \frac{\pi}{2} - (\pi - Z'_B) = Z'_B - \frac{\pi}{2}$$

$$\text{En additionnant : } 2i' + \omega = Z'_B - Z'_A = Z_B - Z_A$$

$$i' + \frac{\omega}{2} = \frac{Z_B - Z_A}{2}$$

Ainsi les formules 5, 7 et 8 deviennent :

$$5\text{bis}) Dh_{AB} \approx Dp \cos \frac{Z_B - Z_A}{2}$$

$$7\text{bis}) \Delta h \approx Dp \sin \frac{Z_B - Z_A}{2}$$

$$8\text{bis}) \Delta h \approx Dh_{AB} \tan \frac{Z_B - Z_A}{2}$$

Ces formules sont utilisées en géodésie pour des visées ne dépassant pas une dizaine de km. Pour des portées plus longues, ou pour avoir davantage de précision, il suffit d'introduire $\cos \frac{\omega}{2}$ en dénominateur.

Ainsi les formules géodésiques peuvent-elles être obtenues à partir des formules topométriques, que nous avons démontrées directement en supposant que la visée était unilatérale et en adoptant les conditions moyennes de réfraction.

On aurait pu faire l'inverse, c'est-à-dire déduire les formules topométriques, relatives à une visée unilatérale, des formules géodésiques relatives à des visées réciproques.

Il est évident que la détermination de Dh_{AB} et celle de Δh a une précision plus grande lorsque les visées sont réciproques et encore meilleure si les visées sont réciproques et simultanées.

6. Conclusion

Lorsqu'on procède à des mesures électromagnétiques de distances longues et surtout si celles-ci sont inclinées, il faut respecter une rigueur géodésique. On a intérêt à effectuer des mesures de distances zénithales réciproques et si possible simultanées qui réduisent au minimum l'incertitude sur les conditions de réfraction atmosphériques. Dans ce cas, on utilise les formules géodésiques 5bis, 7bis, 8bis.

Si on se contente d'une visée unilatérale, il faut tenir compte des conditions moyennes de réfraction **même pour le calcul de la distance**.

Il n'est pas indispensable de calculer la distance réduite à l'horizon d'altitude moyenne, comme on le fait habituellement en topométrie. On peut calculer directement Do par la formule 14) et la dénivelée par la formule 7).

Mais si on calcule la distance Dh_{AB} réduite à l'horizon du point d'altitude moyenne, il faut absolument utiliser l'une des 4 méthodes exposées en 2.2.1 et ne pas se contenter de la formule $Dh_{AB} = Dp \cos i$, car on fait alors une erreur pouvant dans certains cas dépasser 10 cm (voir tableau II), une telle erreur étant inadmissible, compte tenu de la précision des instruments modernes de mesure électromagnétique des distances.

SPOT 1 — Premiers résultats en vol

Toulouse 17-19 décembre 1986

Commercialisation du service SPOT :

un premier bilan après six mois de fonctionnement

*par M.-G. BRACHET
PDG de SPOT-IMAGE*



Après une parfaite mise à poste et les premières opérations de contrôle, le satellite SPOT 1 a subi une phase de 2 mois de recette en vol avant que ne soit décidé, le 6 mai 1986, la mise en exploitation opérationnelle du système SPOT.

Les deux stations de réception principales de Toulouse Aussaguel située au Sud-Ouest de la France, et de Kiruna-Esrange au Nord de la Suède, ont recueilli des données du monde entier grâce aux enregistreurs de bord du satellite. De plus, les stations canadiennes de Prince Albert (Saskatchewan) et de Catineau (Québec) reçoivent en direct depuis le 16 juin les images SPOT, du continent Nord Américain. C'est ainsi qu'au 1^{er} novembre 1986, après 6 mois de fonctionnement, deux cent mille scènes SPOT avaient été acquises et archivées dans les stations européennes. Toutes les caractéristiques de ces images, les paramètres de localisation et de couvert nuageux, sont indiquées dans le catalogue central de SPOT IMAGE pouvant être consulté 24 h sur 24.

Le satellite n'a subi que peu d'incidents depuis le lancement, à l'exception de l'enregistreur n° 1 qui a été placé en position d'arrêt depuis le 1^{er} septembre 1986.

Le segment sol : centre de contrôle, centres de pré-traitement des stations de réception, a égale-

ment fonctionné correctement. Les opérations de programmation de la charge utile, étroitement dépendantes des besoins exprimés par les utilisateurs en matière d'images, ont dû, cependant, encourir quelques modifications. L'extrême souplesse du système de prise de vues d'images SPOT s'est avérée effectivement très contraignante face aux impératifs de gestion des conflits, de stratégie de prise de vues, etc...

La distribution des images SPOT à la communauté des utilisateurs du monde entier prend de plus en plus d'ampleur. A ce jour, les données numériques représentent à elles seules 30 % de la production. Quelques problèmes de production et d'organisation sont apparus, en particulier dans le domaine de la fabrication d'épreuves-minute (quick-look) de qualité et des produits photographiques. Diverses améliorations ont déjà été apportées et cet effort se poursuivra au cours des mois à venir.

La réaction des utilisateurs est d'ores et déjà très satisfaisante. L'information supplémentaire qu'apporte la haute résolution des images a, en particulier, retenu toute leur attention. Le marché des images SPOT se développera certainement au cours des prochaines années : le nombre de stations de réception directe qui se connecteront au système SPOT dès 1987 confirment cette tendance.

Session I

Bilan des premiers mois d'exploitation opérationnelle *Exploitation assessment of the first months of the system in operation*

SATIMAGE AND THE NORDIC SPOT MARKET: PRODUCTION CAPABILITIES AND MARKET DEVELOPMENT

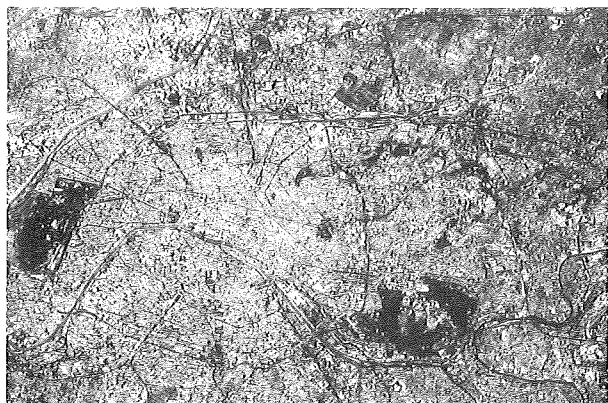
par L. ALM, SATIMAGE — Kiruna (Suède)

THE UNITED STATES FIRST REACTIONS TO SPOT

par David S. JULYAN, SPOT IMAGE CORPORATION Reston (Virginia) USA

CANADIAN SPOT PROGRAM

par T. FISHER, Centre Canadien de Télédétection OTTAWA,
Ontario (Canada)



Multispectral : fausses couleurs combinaison colorée des canaux proche infra-rouge, rouge et vert. Résolution 20 m. Correction géométrique (Paris).

SPOT [®] PRODUCT. CNES-IGN © CNES 1986

PREMIER BILAN DES TRAITEMENTS ET DE L'UTILISATION DES IMAGES SPOT PAR L'IGN

par Alain BAUDOIN, Institut Géographique National

Les premières images SPOT reçues à l'IGN ont été utilisées pour évaluer les chaînes de traitement cartographique adaptées à ces nouvelles données spatiales à haute résolution. L'étude des couples stéréoscopiques et de leur restitution photogrammétrique étant exposés par ailleurs cette présentation mettra l'accent sur les points suivants :

- Rectification des images obliques en utilisant un modèle numérique de terrain. Ces prétraitements, dits de niveau 3, permettent d'obtenir des fonds d'images pour réaliser des spatio-cartes ou pour comparer, pixel par pixel, les images à d'autres informations géographiques.
- Traitement des couleurs des images multispectrales afin d'obtenir des documents grand public ayant des teintes aussi naturelles que possible.
- Réalisation d'images synthétiques en 3 dimensions en habillant une perspective issue d'un modèle numérique de terrain avec la radiométrie des images SPOT.
- Cartographie et interprétation thématique des images SPOT : Etude des incendies de forêts dans le sud de la France, cartographie du tournesol, cartographie de l'occupation du sol du littoral charentais, etc...

Le nombre d'images SPOT étudiées est encore limité et il faut se garder de donner aujourd'hui des conclusions définitives sur les possibilités réelles de ce nouveau système

spatial d'observation de la Terre. Cependant, les premiers résultats sont très encourageants et l'IGN commence dès à présent à réaliser de nouveaux produits cartographiques dans toutes les régions du monde pour les clients français et étrangers. L'IGN va acquérir de façon systématique des images du territoire français pour obtenir certaines des informations géographiques nécessaires à la constitution et à la mise à jour de la base de données cartographiques, l'une des deux grandes bases de données géographiques que le gouvernement français lui a demandé de réaliser.

BILAN DE L'OPERATEUR DU SATELLITE ET DE LA STATION DE TOULOUSE

par P. WARLOP, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

La première partie est consacrée au comportement et à l'état du satellite en orbite.

Le comportement de la plate-forme est excellent : ce fait est illustré par la présentation de l'évolution de quelques paramètres caractéristiques. Une courte panne du calculateur embarqué a interrompu la mission (3 jours en juillet 1986). Un rapide historique des anomalies fugitives de la charge utile est présenté.

Finalement deux anomalies subsistent :

- Le non fonctionnement d'un des deux enregistreurs bord.
- L'impossibilité d'utiliser la lampe de calibration pour calculer les coefficients d'égalisation des détecteurs, une méthode de substitution ayant été mise au point. L'orbite est parfaitement maintenue à l'intérieur des spécifications.

La seconde partie est consacrée au bilan de fonctionnement du centre de contrôle et de mission de Toulouse.

Le centre de contrôle a rempli ses fonctions sans aucune défaillance.

Le centre de mission a programmé la charge utile en fonction des demandes de SPOT Image et des stations de réception directes connectées. Après un rappel sur les conditions d'utilisation des enregistreurs bord, il est présenté :

- un bilan chiffré de la programmation sur les stations principales ;
- l'historique de la prise en compte des stations de réception directes par le système SPOT et les caractéristiques de leur programmation ;
- l'adaptation du centre de mission aux flots des demandes de programmation émanant des utilisateurs.

La troisième partie est consacrée au segment Image de Toulouse.

Le fonctionnement de la station principale de réception des Images de Toulouse est caractérisé par son taux de disponibilité, celui du centre de rectification des images spatiales en termes de quantité de scènes SPOT archives et donc mises au catalogue de SPOT Image, d'évolution de la quantité de produits standards livrés et de délais de fabrication.

Un point particulier est fait sur le contrôle qualité.



Panchromatique : noir et blanc sur tout le spectre visible. Résolution 10 m. Correction géométrique (Paris).

SPOT [®] PRODUCT. CNES-IGN © CNES 1986

Résultats de l'évaluation en vol des images *Résults of in-flight evaluation of images*

EGALISATION DES DETECTEURS

par Marc LEROY, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

L'égalisation des détecteurs de SPOT n'est pas un processus aisé du fait que chacun des 30 000 détecteurs des deux instruments montés à bord de SPOT est caractérisé par une sensibilité à la lumière incidente et par un courant d'obscurité qui lui sont propres.

Dans ces exposés, on présentera les différentes méthodes de mesure de ces coefficients, appliqués soit au sol avant le tir, soit en vol et on évaluera la précision de ces méthodes.

On précisera également la nature des évolutions temporelles des coefficients d'égalisation et des courants d'obscurité entre leur date de mesure au sol et les premiers moments de la vie orbitale d'une part, et dans les six premiers mois de la vie orbitale d'autre part.

Les erreurs et imperfections de mesure de ces coefficients se traduisent après prétraitement radiométrique par un bruit résiduel d'égalisation qui vient s'ajouter au bruit instrumental ; on évaluera l'importance de ce bruit et on le comparera aux spécifications.

On expliquera enfin la nature de certains problèmes résiduels en égalisation des détecteurs, tels que les problèmes de diaphonie entre modes qui perturbent la mesure de courants d'obscurité, ou certains aspects liés à la non linéarité.

RAPPORT SIGNAL/BRUIT

par Gérard BEGNI, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

Dans cet exposé, on s'intéresse au bruit instrumental généré par chaque détecteur (et par l'électronique qui lui est associée). Ce bruit affecte donc les valeurs radiométriques le long des colonnes de l'image géométriquement brute (les défauts d'égalisation entre détecteurs, interprétables comme un bruit le long des lignes image, font l'objet de l'exposé suivant).

On rappellera tout d'abord comment sont construites les spécifications à partir d'éléments physiques caractérisant la prise de vue (réflectance de l'objet observé, angle solaire, angle d'observation, paramètres atmosphériques).

On présentera ensuite les valeurs mesurées du rapport signal à bruit, on les comparera aux spécifications et on commentera les écarts.

La structure du bruit (éventuels effets périodiques ou pseudo-périodiques) sera présentée de façon détaillée.

Des images caractéristiques seront présentées afin de montrer concrètement l'effet du bruit sur les données.

ETALONNAGE ABSOLU ET INTERBANDE, FONCTION DE TRANSFERT DE MODULATION

par Magdeleine DINGUIRARD et Dominique LEGER, ONERA-CERT-DERO BP 4025 - 31055 Toulouse cedex

L'étalonnage absolu consiste à déterminer un coefficient de proportionnalité entre la luminance de la scène observée et les données numériques corrigées par les coefficients d'égalisation.

Ceci a été assuré pendant la recette en vol grâce à des mesures atmosphériques et de réflectance sur le site de White Sands au moment du passage de SPOT. La luminance reçue par le HRV a été estimée à l'aide d'un modèle de transfert de rayonnement à travers l'atmosphère.

A bord, l'étalonnage est assuré par un système à fibres optiques qui projette l'éclairement solaire sur les détecteurs. La mesure sur White Sands a permis de déterminer les caractéristiques en orbite de ce système.

La précision spécifiée de 10 % semble largement atteinte. L'étalonnage interbande est déduit de ces mesures en prenant une bande spectrale (B1) comme référence, ce qui élimine les erreurs systématiques de la mesure et permet d'assurer les 3 % spécifiés.

La Fonction de Transfert de Modulation (FTM) a été évaluée, pour la voie panchromatique, en comparant visuellement les images SPOT réelles avec un catalogue d'images de référence. Le catalogue a été réalisé à partir de photographies aériennes haute résolution de villes du sud de la France. Après numérisation, ces photos ont été dégradées en leur appliquant des FTM connues et ramenées au format SPOT.

Cette comparaison a montré que les deux instruments HRV étaient conformes à la spécification.

En outre, un calcul des contenus fréquentiels des images obtenues quand les deux HRV sont en visée parallèle permet une comparaison directe des deux instruments.

QUALITE GEOMETRIQUE INTRINSEQUE ET EXTRINSEQUE

par Benoît BOISSIN, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

L'objet de cet exposé est de présenter les caractéristiques géométriques d'une image donnée (monospectrale et monotemporelle), étant entendu que la qualité de superposabilité des images sera présentée lors de l'exposé suivant.

Nous présentons tout d'abord les notions de qualité extrinsèque (localisation) et intrinsèque (distorsions internes) des images et effectuerons quelques rappels sur les différents repères géographiques et cartographiques utilisés en télédétection.

Nous étudierons ensuite :

- la localisation des images : définition, objectifs, performances constatées ;
- la distorsion interne des images au niveau 1 B : altération des longueurs, anisomorphisme, cohérence locale, définition, objectifs, performances constatées.



Mosaïque des images :

- multispectrale : résolution 20 m
- panchromatique : résolution 10 m (Paris)

SPOT ® PRODUCT. CNES-IGN © CNES 1986

LA SUPERPOSABILITE DES IMAGES SPOT

par D. PRADINES, Centre National d'Etudes Spatiales (CNES)

La recette en vol du satellite SPOT a permis de vérifier la tenue des spécifications du système qui conditionnent la qualité des images. Aussi, une partie de ces vérifications ont porté sur la géométrie des images.

La superposabilité des images SPOT est un des points principaux qui participe à la qualité des images. C'est pourquoi des méthodes permettant de tester cette superposabilité ont été développées au CNES afin d'obtenir dans les meilleurs délais un bilan complet.

Pour cela, on distingue deux types de superposabilité :

- la superposabilité multitemporelle, caractérisant en particulier la qualité des produits de niveau S du CRIS ;
- la superposabilité multispectrale qui est pour une grande part dans la qualité des restitutions colorées des images multispectrales.

Les méthodes employées, basées sur la corrélation automatique d'images ainsi que les résultats obtenus seront exposés dans une première partie.

La seconde partie sera consacrée à l'utilisation, dans deux cas précis, de la qualité de superposition des images SPOT.

Le premier cas est celui du produit dit "P plus XS". Dans le cas d'une prise de vue simultanée en mode panchromatique et multispectral avec le même instrument,

Colloque international

la superposition des deux images est facilitée par la géométrie de cette prise de vue. Les images obtenues en utilisant une telle superposition seront montrées.

Le deuxième cas concerne la mosaïque de quatre images SPOT acquises par les deux instruments en configuration jumelée. La qualité géométrique de l'image finale dépend en grande partie d'une bonne superposition des images provenant des deux instruments HRV dans la zone de recouvrement. Les premiers résultats montrent qu'il est possible de réaliser de façon totalement automatique une telle mosaïque.

EVALUATION DES POSSIBILITES STEREOSCOPIQUES DE SPOT POUR LA CARTOGRAPHIE

par **Patrice DENIS, Patrick GIGORD et Vincent RODRIGUEZ**,
Institut Géographique National (IGN) France

Le volet de la recette en vol de SPOT 1 concernant la spécification de restitution du relief s'est déroulé de mars à octobre 1986 sous la responsabilité de l'IGN.

A cette occasion, deux zones test ont été sélectionnées dans le sud de la France et équipées en points d'appui et en points de contrôle avant le lancement du satellite. L'altimétrie de ces points a une précision comprise entre 0,1 et 0,5 mètre.

Les mesures se sont déroulées sur un appareil de restitution analytique Traster/Matra pourvu du logiciel SPOT développé par l'IGN. Les données utilisées se composaient de films de précision de niveau 1A générés au CRIS et de données auxiliaires extraites des CCT correspondantes. La procédure utilisée fut la suivante :

- mise en place du couple sur Traster à l'aide de points d'appui ;
- pointé des points de contrôle ;
- sortie des résidus correspondants.

A partir des 31 scènes exploitables retenues, 60 couples stéréoscopiques ont été mis en place, correspondant à des configurations diverses de prises de vue.

Ils ont permis de vérifier que les spécifications étaient bien respectées : les résultats bruts nous donnent un résidu moyen quadratique en Z égal à 7 mètres. Après épurée des résultats pour éliminer les pointés faux, ce résidu moyen quadratique tombe à 5,5 mètres.

SPOT confirme donc les espoirs que les cartographes avaient placés en lui.

CARTOGRAPHIE SPATIALE

par **Jean-Pierre PINSON**, Institut Géographique National France

La restitution photogrammétrique des images SPOT est faite sur un appareil analytique Traster de Matra.

La qualité des résultats obtenus dépend essentiellement des caractéristiques des images : au niveau 1A le modèle apparaît très incliné ce qui rend délicat le tracé des courbes de niveau. Les bonnes conditions sont obtenues par exploitation d'images positives insolées au Vizir avec une compensation locale de contraste et une anamorphose dont l'effet est de redresser le modèle photogrammétrique.

Le calage est réalisé à l'aide des coordonnées de points mesurés avec une précision de 3 mètres : les récepteurs satellites Navstar-GPS les fournissent rapidement sur le terrain.

Les résultats altimétriques sont bons : ils permettent le tracé des courbes de niveau avec une équidistance de 40 mètres, voire 20 mètres dans de bonnes conditions.

La planimétrie pose quelques problèmes d'identification résolus par un complètement plus important que par les méthodes classiques.

La restitution photogrammétrique des images SPOT permet de cartographier les pays neufs aux échelles comprises entre le 1/50 000^e et le 1/250 000^e dans de bonnes conditions de coûts et de délais.

Session III

Premiers résultats de l'utilisation thématique des images *First results of SPOT IMAGES in terms of thematic uses*

AMENAGEMENT, URBANISME ET OCCUPATION DES SOLS LAND USE, URBAN AND RURAL PLANNING ETUDE DE LA FAISABILITE D'UNE LIGNE DE PRODUITS TIRES DE L'IMAGERIE SATELLITE SPOT ET SPECIFIQUES AUX ETUDES DE TRACES ROUTIERES

par **J. DORIDOT**, Laboratoire Régional de l'Est Parisien — Melun (France)

1. Le problème posé et l'objectif à atteindre

L'étude d'un tracé, qu'il s'agisse de routes, voies ferrées ou d'autres projets linéaires, commence par la reconnaissance d'une bande de terrain couvrant l'axe principal du projet (20 km de part et d'autre).

Le problème est de réunir sur cette bande, dans des conditions de coût et de délai déterminées, un maximum de données sur le relief, l'hydrographie, la géologie, les sols, l'occupation des sols, etc., afin d'identifier les principales contraintes du projet et de permettre au projecteur d'analyser et de comparer plusieurs variantes en fonction de critères géotechniques, géométriques,...

L'objectif, à ce stade, est de fixer le "couloir" du tracé où seront entreprises des études plus détaillées et un lever topographique précis.

Dans certaines régions, les cartes existantes sont directement utilisables pour faire cette approche mais dans beaucoup d'autres, ces cartes n'existent pas ou, si elles existent, sont souvent incomplètes et imprécises. Ainsi, dispose-t-on, dans les cas les plus courants, de fonds planimétriques à des échelles moyennes ou petites sans aucune donnée altimétrique.

Pour pallier cet état de chose, on a souvent recours à une vision aérienne du terrain par des photos aériennes prises d'avion ou, plus récemment, à l'aide de vues satellites.

Ces deux techniques qui sont complémentaires ont leur domaine propre d'application et interviennent à des phases différentes de l'étude de tracé :

— d'un côté, les images Landsat (1, 2 et 3) montrent le grand intérêt de leur "vue de synthèse et de leurs caractéristiques multispectrales dans les études préliminaires du projet mais aussi leur limitation due à leur faible résolution" ;

— de l'autre, les photos aériennes dans la gamme d'échelle où elles sont réalisées (du 1/5 000^e au 1/100 000^e) peuvent couvrir à la fois des études générales et de détail et permettent avec un appui au sol de réaliser des travaux photogrammétriques et des restitutions en courbes de niveau. A noter cependant qu'au niveau des études préliminaires, lorsque la surface à étudier est importante (quelques milliers de km carrés), le recours à la photo aérienne peut devenir une méthode lourde.

Dans ce contexte, SPOT présente deux atouts : haute résolution et stéréoscopie grâce auxquelles on peut envisager d'atteindre un degré plus important dans l'utilisation de l'imagerie satellite à des fins routières et la possibilité d'une approche géométrique, en particulier au niveau de l'étude des variantes pour analyse de profils.

Ainsi, à partir de SPOT, sur une bande couvrant environ vingt kilomètres de part et d'autre de la ligne brisée représentant l'axe général du tracé envisagé, il faudra entreprendre un inventaire systématique des facteurs topographiques et des différentes contraintes du milieu naturel de la région traversée.

2. Définition de la ligne de produits à réaliser

Pour répondre à cet objectif en faisant appel aux données SPOT, il nous est apparu nécessaire de réaliser une ligne de produits commercialisables et bien adaptés au problème. En l'état actuel de notre réflexion, cette ligne de produits en cours d'étude pourrait être la suivante :

— un **modèle numérique de terrain** calculé sur les couples d'images SPOT intéressant la bande du tracé ;

— un **produit principal** : une séquence d'images, mosaïques rectifiées et rééchantillonnées, couvrant au mieux la bande du tracé.

Ces images seront au format 40 × 40, au pas de 20 m, à l'échelle du 1/200 000^e. Pour chaque pixel de chaque image, on interpole à partir du MNT les valeurs d'altitude.

La projection est donnée par les coordonnées image et carte des points de contrôle de la rectification géométrique. La restitution image est faite sur Vizir.

— les **produits dérivés** qui auront différentes formes :

* fichiers de paramètres à partir des données spectrales brutes et/ou interprétées, des résultats obtenus sur les textures et des données tirées du MNT, altitudes et pentes ;

* image stéréoscopique pour visualiser les différentes variantes en fonction du relief ;

* jeu de profils en long et en travers. On examinera les possibilités d'apprécier les mouvements de terre, d'optimiser le profil en long ;

* la carte des obstacles obtenue :

• par l'interprétation automatisée des ombres et des limites de texture : détection des ruptures brutales de pentes, falaises ;

• par l'interprétation automatisée des zones de textures et du MNT : détection des zones marécageuses ou inondables.

Colloque international

3. La zone d'expérimentation

Bien que les objectifs de cette analyse visent principalement les études de tracés routiers dans les pays en voie de développement, il a paru nécessaire, notamment pour des raisons de coût et de contrôle sol, de faire l'expérimentation en France. On a choisi un projet de tracé dans le sud de la France axé sur la RN 9 et passant par les localités de Séverac-Millau-Lodève, Pézenas, c'est-à-dire traversant successivement les Causses, le bassin de Lodève, l'extrémité orientale de la Montagne Noire et la plaine littorale, autant de régions bien différenciées par leur nature géologique et géotechnique et leurs caractéristiques de relief.

La scène K = 46 J = 262 a donc été retenue avec trois types de documents : une verticale panchromatique et une verticale XS datant du 1^{er} mai 1986 précédées d'une oblique panchromatique à la date du 4 avril 1986.

4. Les travaux en cours

Les travaux débutent actuellement selon un phasage prévu lors de la proposition. Ils font l'objet d'une association entre l'Institut Géographique National Service des Applications Nouvelles d'une part, et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées en collaboration avec le Laboratoire Régional de l'Est Parisien, d'autre part.

Le travail débute à l'IGN par le calcul d'un modèle numérique de terrain et la réalisation du produit de base imagerie 40 × 40 au 1/200 000^e couvrant la bande du tracé.

Parallèlement, une interprétation des images SPOT sur stéréo est en cours au LCPC. Elle a pour objet de réaliser une interprétation thématique concernant :

- le repérage au sol ;
- l'analyse de l'occupation du sol ;
- l'interprétation géologique de l'espace ;
- les indices hydromorphiques.

Cette analyse doit se poursuivre par la réalisation de différents produits dérivés tels que :

- un fichier altitude et pente ;
- des images stéréoscopiques ;
- des séries de profils en travers et en long.

La présentation du produit "commercialisable" pourrait avoir la forme d'un document qui, par sections de tracé, présenterait côte à côte quatre documents :

- une série de profils de relief ;
- l'imagerie de gauche et l'imagerie de droite en disposition stéréoscopique ;
- une carte des obstacles avec la trace des principaux couloirs d'itinéraires.

La conclusion de cette étude analysera l'intérêt des résultats obtenus en fonction du coût de leur acquisition et traitement d'une part, et en fonction du coût des méthodes classiques actuellement utilisées d'autre part.

ESSAIS DE DEFINITION DE NOUVELLES VARIABLES D'INTERET EN MILIEU URBAIN

par Catherine PEDRON, Jacques TOURNET, Jean CUSSOL (1), Gilbert SAINT, Catherine LEPRIEUR (2)

Les études effectuées à partir des simulations SPOT sur Toulouse ont mis en évidence tout l'intérêt de la haute résolution spatiale et de l'analyse radiométrique (traitements statistiques des données) en milieu urbain.

Les travaux réalisés à ce jour sur une seule image SPOT de Toulouse ont pour premiers objectifs :

- la reconnaissance de la proportion de couvert minéralisé (asphalte, béton...) et non minéralisé (espaces verts, terrains vagues...) dans un but d'optimisation des réseaux de drainage ;
- le suivi des chantiers.

L'évaluation de la capacité de drainage des surfaces en milieu urbain nécessite la définition et la validation de différents indices permettant d'obtenir un facteur d'imperméabilité. Cette information extraite de l'imagerie SPOT et corrélée à celles de la banque de données urbaines de la ville de Toulouse devrait permettre de réaliser le calcul et l'optimisation des réseaux de drainage d'une façon quasi-automatique.

En ce qui concerne le suivi des chantiers, des traitements simples permettent d'extraire avec une bonne discrimination les sols nus. L'utilisation d'un facteur contextuel permettra peut-être de séparer les chantiers (sols nus en milieu urbain) et les labours des zones péri-urbaines (sols nus en milieu rural).

Quant au suivi proprement dit, bien que ne possédant à l'heure actuelle qu'une seule date, il apparaît déjà clairement que les différents états d'avancement peuvent être discriminés sur une même image.

(1) Mairie de Toulouse
(2) LERTS

CARTOGRAPHIE ET TOPOGRAPHIE CARTOGRAPHY AND TOPOGRAPHY

CARTOGRAPHIE ET TOPOGRAPHIE AVEC SPOT

par Patrice FOIN, Institut Géographique National (IGN)

Toutes les possibilités offertes par SPOT dans le domaine de la cartographie, qu'elle soit topographique ou thématique, n'ont, bien entendu, pas encore pu être explorées. Des premières investigations (recette en vol PEPS, essais divers), et conformément aux prévisions qui avaient été faites à partir des simulations, les apports suivants peuvent être dégagés.

— Le premier d'entre eux est certainement l'altimétrie, obtenue par voie photogrammétrique et qui fait l'objet d'un autre exposé mais dont la précision doit être soulignée. Outre l'aspect topographique pour les zones non cartographiées, l'obtention d'un relief numérique ("modèles numériques de terrain") offre des possibilités thématiques importantes dans les domaines de la géologie et de l'écologie végétale notamment.

— En deuxième lieu, il faut citer les possibilités nouvelles de mise à jour des cartes à moyenne échelle (1/100 000^e et peut-être échelles plus grandes). L'extraction d'informations est bien maîtrisée et immédiate pour les informations aréales (forêts, eau, agglomérations, etc...) ; elle est en cours d'étude pour les éléments linéaires (voies de communication, etc...).

— Des cartes d'un nouveau type, les "spatio-cartes", commencent à faire leur apparition et supplantent assez souvent la carte classique, par leur richesse d'informations et leur faible coût d'établissement.

— Dans le domaine des cartes thématiques, les possibilités de stéréoscopie et de choix de date grâce à la répétition accrue sont particulièrement intéressantes suivant les thèmes étudiés. La première fournit au géologue la vision en relief de vastes zones qui lui faisait défaut, la deuxième est particulièrement importante pour ceux qui étudient la végétation liée à des cycles saisonniers stricts. La maîtrise de la connaissance de l'occupation agricole du sol s'en trouve considérablement accrue.

— Enfin, loin d'être contradictoire avec les techniques classiques, le traitement de l'imagerie SPOT est souvent complémentaire de celles-ci. Ainsi, une étude dans le cadre du PEPS Aix-Marseille montre la complémentarité de la photo-interprétation classique, source de certaines informations, et de l'imagerie SPOT qui fournit des informations complémentaires et autorise la tenue à jour continue à un coût raisonnable, ce qui n'aurait pas été le cas avec la seule photo-interprétation.

La banque de données est en train de se substituer progressivement à la carte, qu'elle soit topographique ou thématique. Avec SPOT et ses données sous forme numérique, le processus de création de telles banques de données se trouve accéléré, et le si difficile problème de leur tenue à jour est en passe d'être résolu.

Un peu plus de neuf mois après le lancement du satellite, les chaînes de production cartographique et la création de banques de données commencent à se trouver modifiées tandis que les recherches et les développements nouveaux foisonnent. S'il est encore trop tôt pour faire un bilan précis, il apparaît clairement que SPOT, premier d'une nouvelle génération de satellites, est déjà en train d'impulser une nouvelle génération de cartes.

GEOGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT GEOGRAPHY AND THE ENVIRONNEMENT

SPOT FOR EARTHQUAKE HAZARD ZONING IN SOUTHERN ITALY

par H. Th. VERSTAPPEN, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (Pays-Bas)

RESSOURCES EN EAUX WATER RESOURCES

THE USE OF SPOT IMAGES FOR WATER RESOURCES SURVEYS THE EXAMPLES OF THE KASSERINE AREA (TUNISIA) AND THE JEBEL AMOUR (ALGERIA)

par Dirk de HOOP (1) Attila SESOREN (2) Caesar VOUTE (1)

(1) International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences ITC Enschede
(2) Geological Survey of the Netherlands, remote sensing section, c/o ITC, Enschede The Netherlands

GEOLOGIE, EXPLORATION MINIERE ET PETROLIERE GEOLOGY, MINERAL AND OIL EXPLORATION

APPLICATION OF SPOT I DATE TO MINERAL EXPLORATION IN NEVADA

par JAMES V. TARANIK AND MARCUS X., Borengasser, Mackay School of Mines, University of Nevada, Reno

Colloque international

INTERPRETATION GEOLOGIQUE D'UNE IMAGE SPOT XS DU KENYA : LES RESEAUX DE FAILLES DU GREGORY RIFT

par J. CHOROWICZ et G. VIDAL, Université Pierre et Marie Curie
Paris (France)

La première image SPOT obtenue sur le Kenya est centrée sur le Gregory Rift, un segment du Rift Est Africain. Des traitements standards comprenant un étallement de la dynamique et une anamorphose canal par canal, donnent une image en composition colorée de très grande qualité. Sans attendre une seconde image du même secteur pour l'observation stéréoscopique, une analyse de la fracturation et une cartographie des formations lithologiques ont été effectuées à plat.

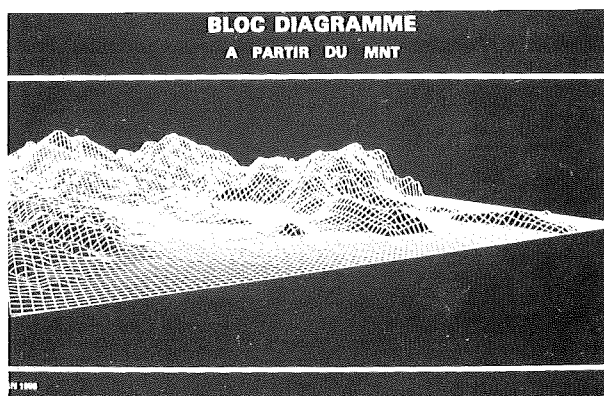
La carte obtenue est comparée à deux cartes de même type issues respectivement de l'analyse d'images Landsat-MSS et Landsat-TM de la même région et ayant subi des traitements analogues. L'analyse des images Landsat-MSS avait été faite en stéréoscopie. La haute résolution spatiale de l'image SPOT permet de dessiner une carte beaucoup plus fine et plus précise que les documents antérieurs. La forme courbe et le tracé sinueux dans le détail des failles liées à la caldera du Menengai apparaissent avec netteté.

Le réseau de fractures obtenu lors de cette analyse confirme que cette région du Rift est à l'intersection de deux grandes directions qui interfèrent :

- des failles sub-méridiennes correspondant à la direction principale du Rift dans cette région ;
- des failles NW-SE marquant le passage de la zone linéaire d'Assoua à caractère transformant.

EVOLUTION DU POTENTIEL D'UTILISATION DE LA TELEDETECTION EN CARTOGRAPHIE GEOLOGIQUE ET MINIERE

par J.-Y. SCANVIC, Bureau de Recherches Géologiques et Minières
Orléans (France)



Bloc Diagramme dressé en utilisant le modèle mathématique de terrain de la région de Nice.

SPOT (R) PRODUCT. CNES-IGN (C) CNES 1986 (C) IGN 1986

AGRICULTURE TROPICALE AGRICULTURE IN TROPICAL COUNTRIES

ETUDE DE LA VEGETATION EN ZONE TROPICALE LES SAVANES DU PARC NATIONAL DE LA COMOÉ (Cote d'Ivoire)

par François BLASCO, Institut de la Carte Internationale de la Végétation (ICIV), Toulouse

La région étudiée se trouve en Côte d'Ivoire dans le Nord du Parc de la Comoé.

Les objectifs de ce PEPS portent essentiellement sur une évaluation des relations entre les paramètres du terrain qui sont principalement des savanes tropicales, et les valeurs radiométriques correspondantes de SPOT. L'idée maîtresse étant de tenter de suivre les évolutions des biomasses, mais aussi celle des états de la végétation (phénologie) dans ces régions et d'en dégager une cartographie dont l'originalité est d'aller au-delà de la simple définition des types physiognomiques des différentes formations végétales tropicales.

Pour cette cartographie, une première phase permet l'étude et l'interprétation des données de SPOT après différents traitements d'amélioration et de combinaisons des données radiométriques : décorrélations de canaux, index de végétation...

Une seconde phase permet une classification automatique des pixels en prenant en compte les données du terrain qui vont de la radiométrie aux physiognomies végétales en passant par les compositions floristiques, les étapes phénologiques saisonnières, les mesures, les calculs ou les appréciations des biomasses sur pied.

Dans chacune des phases, le traitement du "multitemporel" améliore les possibilités de classement. De plus, la visée oblique est utile pour apprécier la stratification de la végétation.

Pour l'évaluation des relations données sol/données SPOT, on cherche à mettre en valeur la validité des relations entre la phytomasse mesurée au sol sur des parcelles d'apprentissage homogènes et les valeurs radiométriques correspondantes ; il devient théoriquement possible d'intégrer ces valeurs radiométriques dans des modèles physiques simples.

Pour ces deux types de recherches et d'application, quatre images de SPOT sont nécessaires : deux images en fin de saison des pluies et deux images en saison sèche plus ou moins avancée. Pour mieux apprécier l'intérêt de la visée oblique, les deux images pour chaque période sont prises avec un angle de battement le plus près possible du maximum, soit $\pm 27^\circ$.

Les coordonnées approximatives du centre de la scène sont : $09^\circ 15'$ Nord et $03^\circ 45'$ Ouest.

Cette expérience permet de produire des inventaires cartographiques des ressources végétales à des échelles adaptées aux besoins des utilisateurs et d'introduire une quantification des biomasses, ce qui était quasiment impossible jusqu'ici.

LES CARTES DES MILIEUX AGRICOLES TROPICAUX A PARTIR DES DONNEES SATELLITAIRES : UN COMPLEMENT AUX CARTES MORPHOPEDOLOGIQUES TRADITIONNELLES

par M. BRUNEAU et J. KILIAN, Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique — Montpellier

Dans le domaine de la mise en valeur agricole des sols tropicaux, les diagnostics classiques demandés par le développement rural consistent surtout en cartes des sols ou mieux cartes morphopédologiques ; ces cartes ont pour but essentiel la connaissance du milieu physique exprimée en termes de paysages et l'identification des contraintes gênant ou limitant la mise en valeur agricole.

Avec l'apparition des données satellitaires, les techniciens et scientifiques ont cru trouver au travers de leur traitement un moyen rapide de remplacer les études morphopédologiques traditionnelles utilisées jusqu'alors.

Il n'en est rien. Par contre, les traitements visuels et numériques des données satellitaires ont débouché sur des cartes permettant d'identifier et de suivre les activités agricoles implantées sur les unités de paysage délimitées par les méthodes traditionnelles de la morphopédologie.

Ces cartes, difficiles sinon impossibles à établir dans un passé tout récent, sont tout à fait complémentaires des premières.

D'un type nouveau, elles permettent de mieux réaliser le passage entre le milieu physique et le milieu agricole et de mieux comprendre ses modes d'utilisation.

La méthodologie de ces cartes est exposée (états de surface, paysages agroécologiques, variations de paramètres...) ; des exemples d'application sont fournis (Madagascar, Burkina Faso, Thaïlande) et les avantages que peuvent trouver les agronomes de terrain dans l'exploitation de ces cartes sont expliqués.

Ces cartes constituent un outil apprécié pour le suivi des projets de recherche développement.

Les recherches en cours pour mieux appréhender et mesurer sur le terrain la vérité des données cartographiées sont exposées.

A COMPARATIVE THEMATIC MAPPING ANALYSIS OF SPOT DATE : THE VIENTIANE PLAIN

par K. NUALCHAWEE, Asian Institute of Technology, Bangkok (Thaïlande)

THE IMPACT OF THE IMPROVED CHARACTERISTICS OF SPOT DATE ON THE DISCRIMINATION OF CROPS IN SOUTHERN BRAZIL

par G.T. BATISTA, J.-F. DALLEMAND, S.C. CHEN, A.T. TARDIN
Instituto de Pesquisas Espaciais Sao Jose Dos Campos (Brésil)

AGRICULTURE TEMPEREE AGRICULTURE IN TEMPERATE COUNTRIES

INVENTAIRE DES CULTURES A L'AIDE DES DONNEES SPOT ET DES ENQUETES DE TERRAIN

par Jean MEYER-ROUX, Service Central des Enquêtes et Etudes
Statistiques (SCEES) Ministère de l'Agriculture — France

Deux projets du programme d'évaluation préliminaire SPOT couvrent ce type d'application, le projet n° 127 "Evaluation des surfaces des cultures annuelles" présenté par le SCEES et le projet n° 71 "Statistiques et cartographie des cultures — aspects multitemporels" présenté par le SRSA Midi-Pyrénées.

Colloque international

Le premier vise à une estimation des surfaces et des cultures annuelles, en particulier les cultures d'hiver sur une région au grand parcellaire et relativement homogène en combinant les données SPOT à une seule date et les données d'enquêtes. La région choisie est la Beauce ainsi que le département de l'Essonne. Le traitement informatique est réalisé en collaboration avec l'antenne de Toulouse du Cemagref. L'étude 1980 a vocation à être étendue dans le cadre du programme 86/89 du SCEES-PEPS.

L'objectif du deuxième est plus ambitieux puisque l'ensemble des cultures principales doivent être inventoriées et ceci à un niveau géographique fin, le canton. Les résultats de la classification doivent être compatibles avec une cartographie thématique. Une couverture à deux dates différentes a été programmée pour cela. Cette étude a pour but d'évaluer les possibilités de réponse de la télédétection à des organismes régionaux ou départementaux intéressés par une statistique et une cartographie localisée des principales cultures.

Dans les deux cas les délais et la qualité des produits reçus seront présentés ainsi que l'adéquation des données à la méthodologie utilisée : calage des signatures spectrales à partir de données terrain, classification supervisée pixel par pixel, vérification des résultats sur des portions de territoire ou segments issus d'un sondage systématique.

Les problèmes liés à chacune des opérations, par exemple extension des signatures spectrales à des zones couvertes à la même date par deux instruments HRV, combinaison pour une même région administrative de données obtenues à deux dates différentes, seront ensuite abordés.

APPLICATIONS DES DONNEES MULTIDATES SPOT A LA SURVEILLANCE DES CULTURES — EFFETS DU GEL ET DE LA SECHERESSE

par P. BOISSARD, J.-G. POINTEL*, J.-P. MOREAU**, G. RIVET***

* INRA, station de bioclimatologie F78850 Thiverval-Grignon

** INRA, station de zoologie F78000 Versailles

*** Stagiaire ISAB à la station de bioclimatologie

La présente étude s'inscrit dans le cadre de la surveillance des cultures en Beauce, région de production céréalière intensive. Deux accidents climatiques différents, survenus au 1^{er} semestre 1986 et qui ont entraîné des baisses de rendement importantes (10 à 20 quintaux/ha) ont été suivis.

Début février 1986, une période de grand froid a provoqué le gel des variétés de blé dur d'hiver les plus gélives. En utilisant une scène SPOT multibande acquise le 1^{er} mai 1986, on a établi une carte des cultures qui s'appuie sur une enquête au sol couvrant 4 000 hectares et qui permet de distinguer sans ambiguïté les cultures suivantes :

- le colza
- le blé tendre d'hiver
- le blé dur d'hiver résistant au gel

En revanche, à cette date, il y a confusion entre blé dur de printemps et blé dur d'hiver ayant gelé.

Dans le cadre de cette étude, une variété de blé dur d'hiver moins sensible au gel a été observée : "Cando". Les dégâts consécutifs au froid se traduisent au 1^{er} mai par une diminution de l'index de végétation normalisé qui confirme que l'action du gel diminue le peuplement (nombre de pieds au m²).

Au niveau de la signature spectrale mesurée sur des images SPOT acquises le 1^{er} mai 1986, une culture ayant souffert du gel présente une augmentation significative dans une seule bande : le rouge (XS2).

On a également analysé les conséquences de la sécheresse de l'été 1986 à travers un coup de chaleur survenu le 26 juin 1986 et caractérisé par six journées consécutives avec une température maximale sous abri de l'ordre de 30°. Cet incident climatique s'est produit, chez le blé, au stade du remplissage des grains, entraînant ainsi un échaudage physiologique. Deux images SPOT acquises le 26 juin et le 1^{er} juillet 1986 permettent d'encadrer ce coup de chaleur.

Après correction de l'effet de voile atmosphérique sur chaque canal grâce à une loi linéaire calée sur des cibles invariantes, l'évolution des signatures spectrales et de l'index de végétation a été mesurée. Quatre grandes catégories de cultures apparaissent :

- celles qui ont souffert du coup de chaleur (échaudage), le blé tendre et le blé dur ;
- celles qui ont eu une maturation accélérée, l'orge d'hiver ;
- celles qui n'ont pas particulièrement souffert pendant cette courte période, l'orge de printemps ;
- celles enfin qui ont évolué favorablement parce qu'en phase de croissance rapide, le maïs, la betterave et le tournesol.

En outre, les images SPOT étudiées mettent en évidence les hétérogénéités du sol au sein des parcelles, particulièrement après une semaine de sécheresse ainsi que l'effet bénéfique d'irrigations effectuées près de trois semaines avant le coup de chaleur et qui ont eu une action préventive sur les zones à faibles réserves utiles.

On notera enfin qu'il a été possible de suivre l'évolution des cultures entre le 26 juin et le 1^{er} juillet 1986 grâce à la capacité de dépointage de l'instrument embarqué.

SYLVICULTURE FORESTRY

UTILISATION DE L'IMAGE SPOT PANCHROMATIQUE DANS LA MISE A JOUR DES CARTES FORESTIERES DU QUEBEC BOREAL — CANADA

par Chantal SEUTHE, Centre Québécois de coordination de la télédétection Sainte Foy Québec (Canada)

Cette étude est réalisée dans le cadre du programme PEPS. Elle est parrainée par le Centre Québécois de Coordination de la Télédétection (CQCT), division du service de la cartographie du Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec.

L'industrie forestière au Québec constitue l'une des principales ressources, c'est pourquoi nous avons besoin d'outils de gestion de plus en plus performants. Les images TM nous offrent déjà des possibilités fort intéressantes en ce qui concerne l'aménagement des territoires en régénération. Par contre, dans le cas de la mise à jour spatiale des territoires perturbés par des coupes ou des feux, nous croyons que l'image SPOT panchromatique pourrait être appropriée.

Jusqu'à maintenant, le service d'inventaire forestier du Québec effectue une mise à jour annuelle des territoires perturbés au moyen des photographies aériennes noir et blanc au 1/20 000^e. C'est un processus relativement coûteux qui permet de recueillir des informations sur l'emplacement exact des coupes et des feux et sur les superficies perturbées.

Une image SPOT panchromatique de la région de Matagami, située au nord-ouest du Québec, a été enregistrée le 20 mai 1986. C'est à partir de cette scène que nous allons tester l'efficacité de l'image SPOT par rapport aux moyens conventionnels. Les premiers résultats de notre investigation semblent prometteurs : les coupes par bandes, qui sont une pratique forestière courante de ce secteur, sont très bien circonscrites sur l'image SPOT. Les traitements d'images envisagés seront axés sur la classification des territoires perturbés en vue de calcul des surfaces. Mais nous prévoyons aussi d'expérimenter le mixage avec des données multispectrales du TM afin de faire ressortir les différentes années de coupe versus l'état de la régénération forestière.

STAND-BASED FOREST INVENTORY FROM SPOT IMAGERY FIRST EXPERIMENTS

par T. HAME, Technical research of Finland Espoo (Finlande)

APPLICABILITY OF SPOT FOR FOREST INVENTORY, MAPPING AND CHANGE MONITORING IN SWEDEN

par S. JAAKKOLA, L. JOHANSSON, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea (Suède)

ETUDES COTIERES ET OCEANQUES COASTAL AND OCEAN STUDIES

UTILISATION DES IMAGES SPOT POUR L'AMENAGEMENT DU LITTORAL ET L'INVENTAIRE DES SITES AQUICOLES EN NOUVELLE CALEDONIE

L. LOUBERSAC (1), M. VIOLIER (2)

Quatre scènes interceptant le littoral ouest de l'île de Nouvelle-Calédonie ont été acquises pour la partie nord le 31.05.1986 et pour la partie sud le 18.09.1986.

A partir de ces premières données, on présente les prototypes de deux produits dérivés ; l'un à l'échelle du 1/100 000^e en tant que carte générale de présélection de sites et l'autre à une échelle du 1/25 000^e résultat du mixage d'informations dérivées de l'image SPOT et de données extérieures dont les sources principales sont la carte topographique IGN et la carte du service hydrographique de la marine.

En deuxième partie, on présente les premiers résultats des campagnes de vérité terrain réalisées entre le 16 et le 23 septembre sur la partie sud (acquisition de 2 images SPOT le 18 septembre). En particulier, les luminances mesurées par le satellite seront comparées aux résultats obtenus sur le terrain le 20 septembre (radiométrie CIMEL bandes SPOT et radiométrie HRS) sur les objets les plus caractéristiques du milieu. Elles sont également comparées aux mesures effectuées par hélicoptère, avec les mêmes radiomètres, le 17 septembre sur les mêmes milieux. Plus précisément, on s'intéressera à évaluer le protocole des mesures héliportées à savoir :

- acquisition de courbes spectrales HRS sur pixels de 20 m au sol ;
- étude de l'évolution de la radiométrie au point fixe pour une taille de pixel variant en continu de 1 m à 10-20 m ;
- étude de l'évolution de la radiométrie d'une même radiale obtenue en visée verticale, en visée avant + 27° et en visée arrière - 27°.

RAPPORT DE SPOT A L'ETUDE DE LA PHYSIOGRAPHIE ET DE L'AMENAGEMENT D'UN LITTORAL

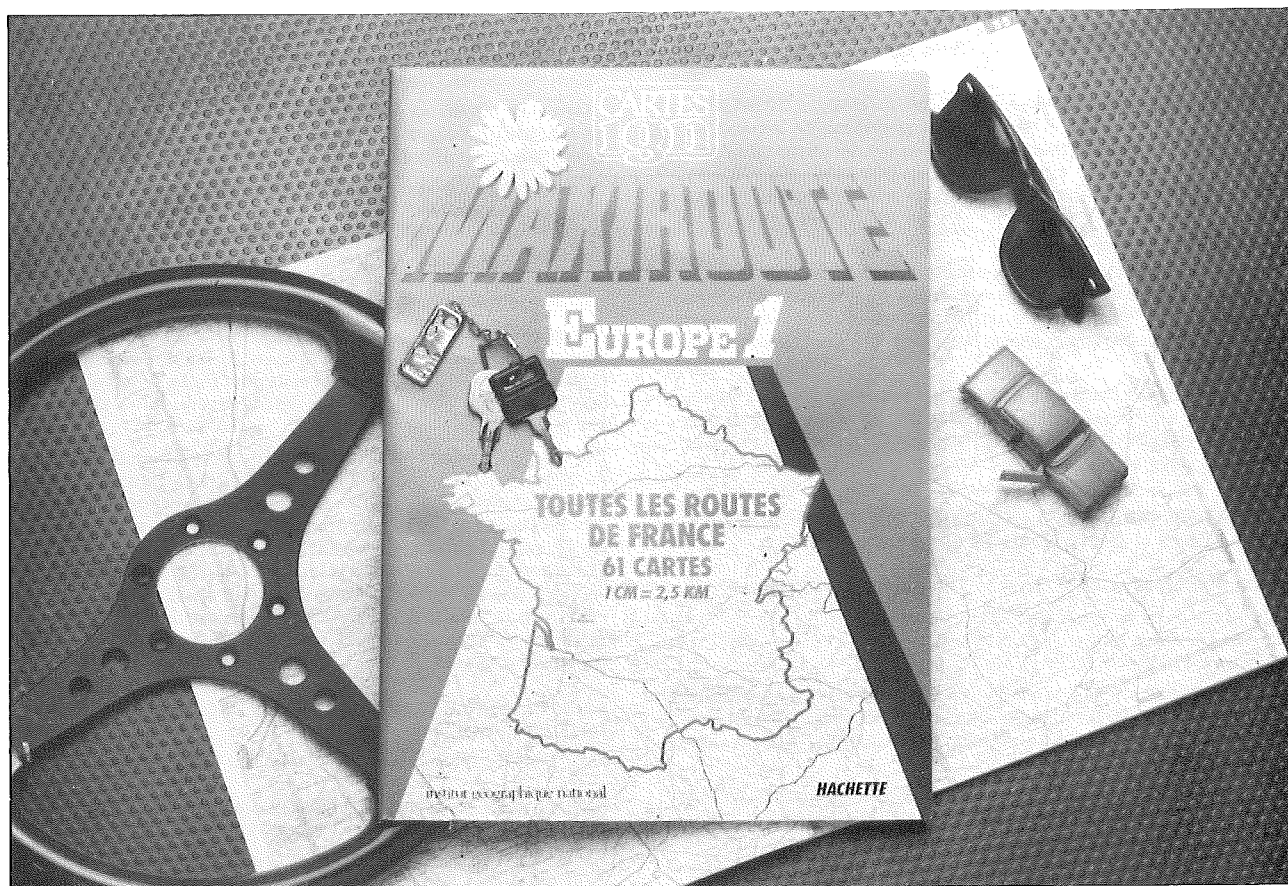
par F. VERGER, Ecole Normale Supérieure, Montrouge (France)

(1) DERO/AT Centre de Brest, BP 337, 29273 Brest cedex

(2) (CNRS), affecté à DERO/AT, Ifremer Centre de Brest, BP 337, 29273 Brest cedex

TOUTE LA FRANCE SUR VOS GENOUX

Les cartes routières cartographiées par l'IGN au 250 000^e



MOTS CROISES

Solution du problème n° 1

Verticalement. — 1. Amapa. Tête. — 2. Pénal. Al. — 3. Pré. Aplomb. — 4. Rimailleur. — 5. Etonnée. — 6. Came. Byzas. — 7. Inespérées. — 8. Ott. Aère. — 9. Nesprun. Ee. — 10. SSE. Ardues.

Horizontalement. — 1. Appréciations. — 2. Méritantes. — 3. Anémomètre. — 4. Pa. Anes. — 5. Alain. Para. — 6. Plèbe. Ur. — 7. Talleyrand. — 8. Eloé (Eole). Zée. — 9. Mu. Aérée. — 10. Embrassées.

Répertoire des Annonceurs — N° 30

A.P.E.I.	47
EQUIMAT	18
FAYNOT	29
I.G.N.	42
GEOTRONICS—AGA	51
LART	54
LE PONT	30-31
MICHELIN	55
NIKON	3 CV
TOPO CENTER	4 CV
WILD + LEITZ FRANCE	2
ZEISS IENA — COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	34

Influence des dimensions de la terre sur les cartes marines et la navigation

par Antoine DEMERLIAC,
Ingénieur Général de l'Armement (Hydrographe)

Résumé

Etude historique sur la détermination des dimensions de la Terre et de leur influence sur les cartes marines et la navigation au cours des temps historiques, d'Aristote à nos jours.

Elle montre en particulier comment la valeur erronée de la circonférence du globe terrestre transmise par Ptolémée au 2^e siècle a permis le voyage de Christophe Colomb plus d'un millénaire après et la raison pour laquelle le mille marin diffère du mille terrestre britannique.

Elle montre aussi pourquoi la querelle sur la figure de la Terre qui a tant passionné les savants du début du XVIII^e siècle a peu intéressé les marins.

Summary

Historical study on the determination of the earth dimensions and their influence on nautical charts and navigation along history, from Aristotle up to the present days.

It shows, in particular, how the erroneous value of the earth's circumference forwarded by Ptolemy in the 2nd century made the voyage of Christopher Columbus possible more than a millenary after and the reason why the nautical mile differs from the british land mile.

It does as well show why the quarrel about the earth's shape that impassioned so much the scholars of the beginning of the XVIIIth century, slightly interested mariners.

Le globe grec

La première mesure historique du globe terrestre date du troisième siècle avant Jésus-Christ et a été faite par Eratosthène. Eudoxe de Cnide et Aristote, un siècle auparavant, avaient bien indiqué 400 000 stades pour sa circonférence, chiffre que Dicaërque de Messine, mort vers 285 avant Jésus-Christ avait ramené à 340 000, mais en l'absence de mesure ces évaluations n'avaient pas grande valeur.

Le puits d'Eratosthène

Eratosthène, le savant bibliothécaire d'Alexandrie, né à Cyrène vers - 284 et qui se laissa mourir de faim vers - 192 après avoir perdu la vue, avait appris qu'à Assouan, alors baptisé Syène, il existait un puits que le soleil éclairait jusqu'au fond au moment du solstice d'été, ce qui montrait qu'il était situé sous le tropique. Au solstice d'été suivant, il mesura à Alexandrie, à l'aide d'un gnomon, la distance zénithale du soleil et trouva 7° 12' ou 1/50 de circonférence. Comme il pensait que Syène et Alexandrie sont sur le même méridien et qu'il était connu que la distance entre ces deux villes était de 5 000

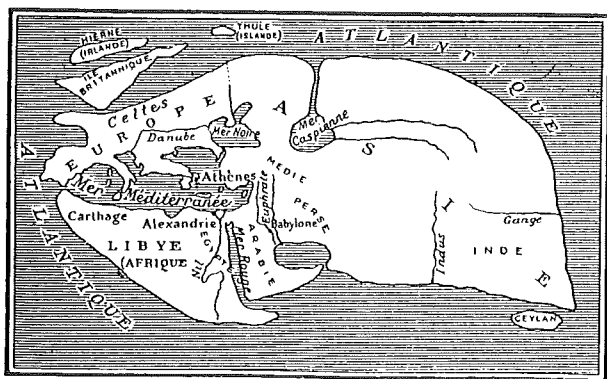
stades, il suffit de multiplier 5 000 par 50 pour obtenir la circonférence cherchée, soit 250 000 stades. Les autres auteurs anciens donnent en général la valeur de 252 000 stades qui semble plus précise mais qui surtout est divisible par 7, chiffre magique de l'antiquité. Avec la valeur de 157,5 m habituellement donnée au stade égyptien, ces 252 000 stades équivalent à 39 690 km, mais cette valeur du stade est douteuse et semble avoir été obtenue par le calcul inverse. D'autre part, si le résultat est exact, il ne peut s'agir que d'un pur hasard, car les deux villes ne sont pas sur le même méridien : il y a une différence de longitude de 3° environ ; la distance n'est pas 5 000, mais 5 346 stades égyptiens, et n'a pas été mesurée par le cadastre égyptien mais évaluée au moyen des journées de marche faites par les caravanes. Cette mesure n'a d'ailleurs eu aucune influence sur les cartes marines qui n'existaient pas encore, ni sur la navigation, uniquement de cabotage.

Posidonius

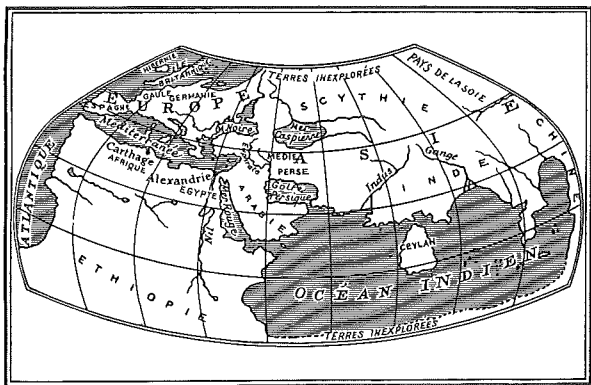
Cent ans plus tard, Posidonius, natif de la Syrie, établit à Rhodes une école fréquentée, entre autres, par Cicéron et Pompée. Il vulgarise et met à la portée du public romain cultivé les principales connaissances géographiques et astronomiques de la science grecque de son époque. D'après la distance marine entre Alexandrie et Rhodes adoptée par les marins de son époque, il évalue la longueur du degré de méridien à 500 stades philétaires, ce dernier étant évalué à 210 mètres environ. Il est intéressant de noter que les deux premières évaluations précises de la longueur du méridien ont utilisé comme unité, pour la mesure de la longueur, l'une, la distance parcourue en une journée par une caravane terrestre, l'autre la distance parcourue en une journée par un navire en mer.

La carte de Ptolémée

Contrairement à ce que l'on rapporte souvent, Ptolémée, au 2^e siècle de notre ère, ne vérifia pas la mesure d'Eratosthène, mais reprit à son compte l'évaluation de Posidonius transmise par Marin de Tyr, et en confondant les valeurs du stade philétaire et du stade égyptien :



CARTE DU MONDE SELON ERATOSTHENE
(250 ans environ avant Jésus-Christ)



CARTE DU MONDE DE PTOLEEMEE
(vers 150 après Jésus-Christ)

Ces dessins réalisés par J.-F. Horrabin sont extraits du livre "La Science pour Tous" de Lancelot Hogben, aucun exemplaire de ces cartes n'étant arrivé jusqu'à nous, mais seulement des reproductions byzantines datant du XIV^e ou XV^e siècle dont un exemple est donné ci-joint.

180 000 stades au lieu de 252 000, soit seulement 28 000 km environ pour le tour de la Terre. C'est sur une donnée fautive qu'il échafauda le tableau des latitudes et des longitudes des principaux lieux de la Terre et traça la première "carte carrée" où les méridiens et les parallèles sont représentés par des droites perpendiculaires, la longueur du degré étant égale sur la carte à celle du degré de longitude, carte imaginée 3 siècles auparavant par Hipparque de Nicée, le plus grand astronome de l'antiquité, mais non réalisée jusque-là par manque de données. Ptolémée a estimé "l'oecumène" (coin habité de la Terre) à 80° de latitude et 180° de longitude en partant à l'ouest des Iles Fortunées (probablement les Canaries), les parallèles extrêmes étant 63° N et 16° S, traversant tous des continents. Il semble ignorer le périple de

Nechao, exécuté vers - 600, relaté par Hérodote 150 ans après l'expédition ainsi que le voyage de Pythéas à Thulé vers - 325, relaté trois siècles plus tard par Strabon, Aélius d'Antioche, puis par Pline au premier siècle de notre ère. Cette carte avait donc la forme d'un rectangle allongé, d'où les dénominations de longitude, comptée dans le sens de la longueur et de latitudes dans celui de la largeur. Cette carte n'est pas arrivée jusqu'à nous et les reproductions que nous possédons sont dues à des artistes byzantins des XIII^e et XIV^e siècles. Elle était destinée aux savants ou à l'enseignement des élites, et n'avait aucun usage maritime. Elle a cependant eu une influence considérable sur la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, à partir d'elle et de la mappemonde de Martin Behaim (fin du XV^e siècle) qui en était dérivée, assignait une différence de longitude de 125° entre les îles Fortunées et l'Inde par l'Ouest sur un globe de 28 000 km de tour alors que la différence réelle est de 240° sur un globe de 40 000 km. Il était en particulier convaincu qu'une traversée de 90° vers l'ouest lui suffirait pour atteindre la côte chinoise. Il ne pouvait deviner que la distance réelle était de 210°, et, lorsqu'il découvrit l'Amérique, personne ne voulut y croire, même pas lui, car ce n'était pas du tout ce qu'il cherchait, et s'imagina avoir atteint la côte orientale de l'Asie, but de son hardi voyage, tant était puissant le prestige d'antiques croyances sur les limites du monde.

L'apport arabe

Et pourtant, les Arabes mesurèrent un arc de méridien de 1 degré dans les plaines de Mésopotamie dès 827 avec une assez bonne précision (2 % environ d'erreur par excès) et connaissaient dès le XIII^e siècle la longueur de la Méditerranée à 2,5° près (42° réels au lieu de 62° indiqués sur la carte de Ptolémée) mais la correction ne vint sur les cartes européennes qu'avec Mercator au XVI^e siècle et Guillaume Delisle au début du XVIII^e siècle.

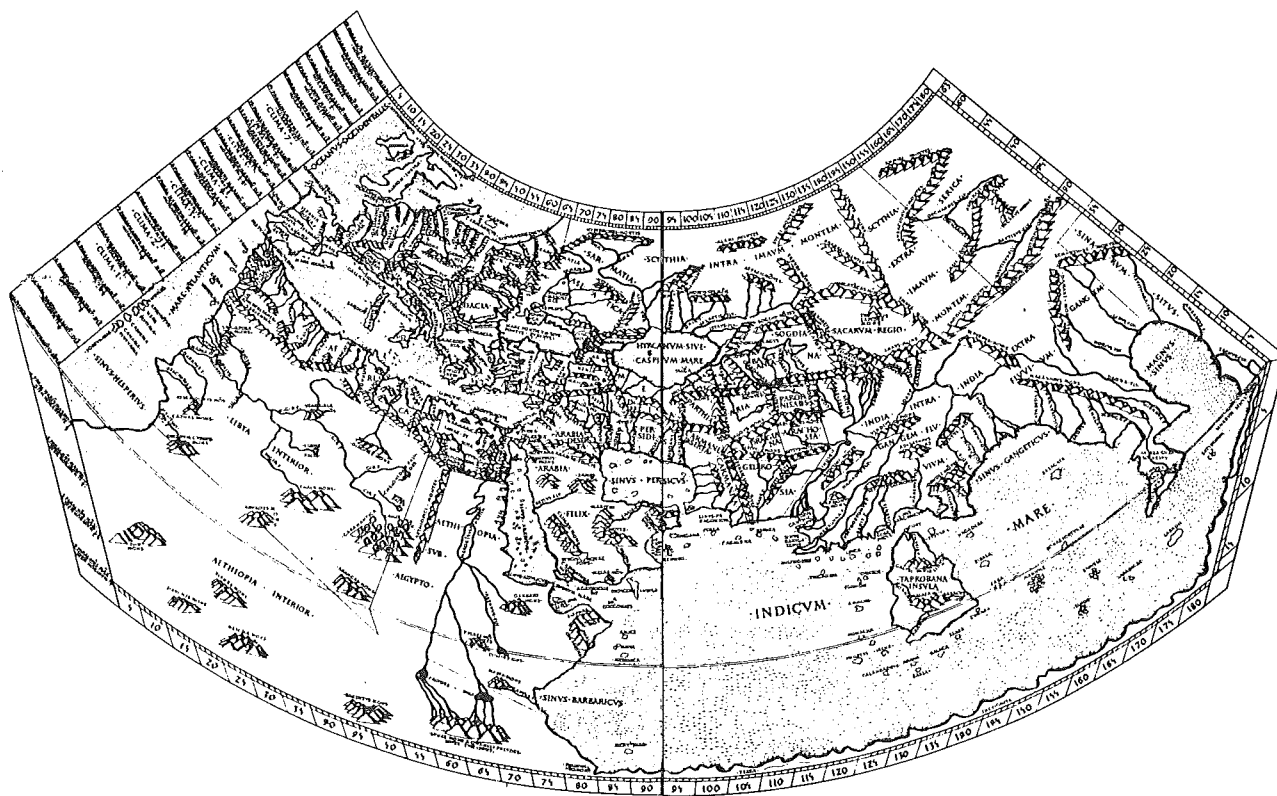
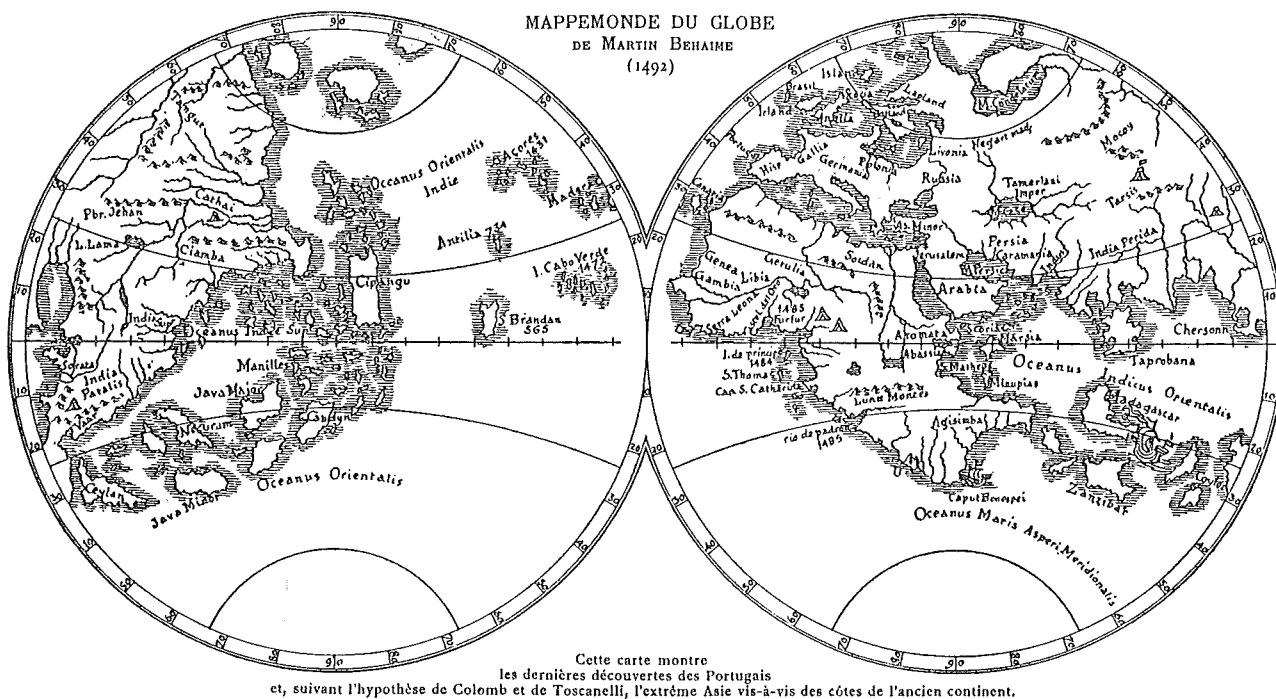


PLATE 16 (Entry 4). Claudius Ptolemy, Rome, 1478.

Un des exemplaires de la carte de Ptolémée existant encore, datant du XV^e siècle. Bien que Ptolémée ait recommandé la "carte carrée", les cartes qui nous sont parvenues sont en projection équivalente



Extrait de l'ouvrage "Christophe Colomb" du Commandant Charcot

Les portulans

Les cartes marines n'ont pas été d'un usage courant avant le XVII^e siècle. Robert de la Croix, dans son livre "Des navires et des hommes" rapporte l'existence d'un antique portulan dont l'auteur serait un pilote massaliote, et qui daterait de l'an 500 avant Jésus-Christ, mais ce n'est qu'au XIII^e siècle de notre ère que l'on trouve la première référence certaine de l'utilisation d'une carte marine : en 1270, les marins en montrèrent une à Saint-Louis, en route pour la huitième croisade, pour le rassurer après une tempête en mer. A cette époque, l'aiguille magnétique était devenue d'un usage général et les relevements pouvaient être portés avec précision. Ces cartes portaient un réseau de lignes correspondant aux graduations de la rose des vents du compas de marine, l'unité de longueur étant mal définie. En fait, ces cartes n'étaient que la traduction graphique des règles de navigation par route ou cap et jours de mer pour la distance, et ne portaient aucun carroyage géographique. Ce n'est qu'au XVI^e siècle que ce dernier apparaît, lorsque les Portugais entreprirent l'exploration de l'océan Atlantique et que les astronomes eurent établi les règles pour observer la latitude par le soleil.

Le mille marin et le nœud

Vers la même époque, l'usage de mesurer les distances en lieues marines, puis en milles se généralisa. La lieue marine valait, en France, un vingtième de la longueur d'un degré de méridien, et 3 milles. Le mille était donc égal à la minute de méridien, et l'unité de vitesse, le nœud (un mille parcouru en une heure). L'unité de vitesse ainsi que l'échelle de la carte sont donc liées aux dimensions de la Terre. La longueur du mille était évaluée dans la marine française jusqu'au XVII^e à 1 500 m environ, ce qui correspond à l'évaluation de Posidonius : 180 000 stades de circonférence en adoptant le stade attique de 177,4 m. En Angleterre, Richard Wright, en 1589, évalua le rayon de la Terre à 5 580 km d'où pour le mille la valeur de 1 609 m. Les lignes du loch dans les marines ont été graduées en conséquence : 7 brasses entre les nœuds, mais la brasse anglaise (6 pieds de 0,305 m — 1,83 m) est différente de la brasse française (5 pieds de

roi de $0,325 = 1,63$ m). La même vitesse est donc mesurée, dans les deux marines, par des nombres différents de 12 % environ.

Fernel ce méconnu

Les premières mesures de la Terre des temps modernes sont celles du docteur Fernel (1497-1558) et datent de 1527. Il mesura la différence de latitude entre Paris et Amiens par observation de la hauteur méridienne du soleil et la distance entre les deux villes à l'aide d'un compte tour de son invention monté sur une roue de son carrosse et trouva 57 099 toises au degré, soit 1 855 m pour la minute de latitude, mais cette mesure passa complètement inaperçue, en France comme en Angleterre où l'on admettait encore, au temps de Newton, la valeur de 1 609 m et ce nombre erroné empêcha ce dernier de vérifier la loi de l'attraction en l'étendant à la gravité terrestre.

Un tournant avec l'abbé Picard

Vers le milieu du XVII^e siècle, Colbert ordonna de mesurer avec précision la longueur du mille marin, et, en 1699-70, l'abbé Picard, fondateur de l'observatoire de Paris, mesura un arc du méridien de Paris, en s'appuyant sur une base mesurée à Juvisy et en appliquant la méthode des triangulations imaginée par le Hollandais Snellius en 1615 mais perfectionnée en adaptant la lunette astronomique à la mesure des angles. Il en conclut qu'un degré de méridien valait 57 060 toises, soit 1 853,5 m pour la minute de latitude. Ce fut la première mesure méritant véritablement confiance : "Le jour même où elle parvint en Angleterre, Newton, armé de ce nombre, découvrit l'attraction universelle" (FAYE).

Notons, pour être complet, que le Hollandais Snellius mesura en 1617 avec des instruments rudimentaires un arc entre Bergen-Op-Zoom et Alkmaar et trouva 55 100 toises au degré ; une quinzaine d'années plus tard, l'anglais Richard Norwood donna 57 424 toises et Riccioli 62 900 : ces écarts regrettables laissaient la circonférence terrestre osciller entre 38 600 et 44 000 kilomètres, mais la totalité du monde scientifique adopta la mesure de l'abbé Picard dès qu'elle fût connue.

Il y a nœud et nœud,...

Les marins ne mirent en accord la longueur du mille marin avec la minute de latitude fournie par les savants qu'au cours du XVIII^e siècle. Ce ne fut que très lentement et à contre cœur qu'ils firent les nœuds sur la ligne de loch. L'intervalle entre deux nœuds, le nœud actuel, se trouva alors plus proche de 50 pieds que de 42 (7 brasses en unités anglaises) : le nombre de nœuds donnant la vitesse du navire diminua de 15 à 23 % suivant les pays. Par contre, il n'y eut aucun changement sur les cartes marines, les distances étant mesurées en milles marins ou en lieues marines dont la valeur était précisée par rapport au degré de méridien, mais dont on se gardait bien de préciser la valeur en toises ou en pieds.

...et mille et mille

Notons la distinction, à partir de XVIII^e siècle en Angleterre, du mille marin, égal à 1853 puis 1852 mètres et du mille terrestre qui a conservé la valeur précédemment admise pour la minute de latitude : 1 609 mètres.

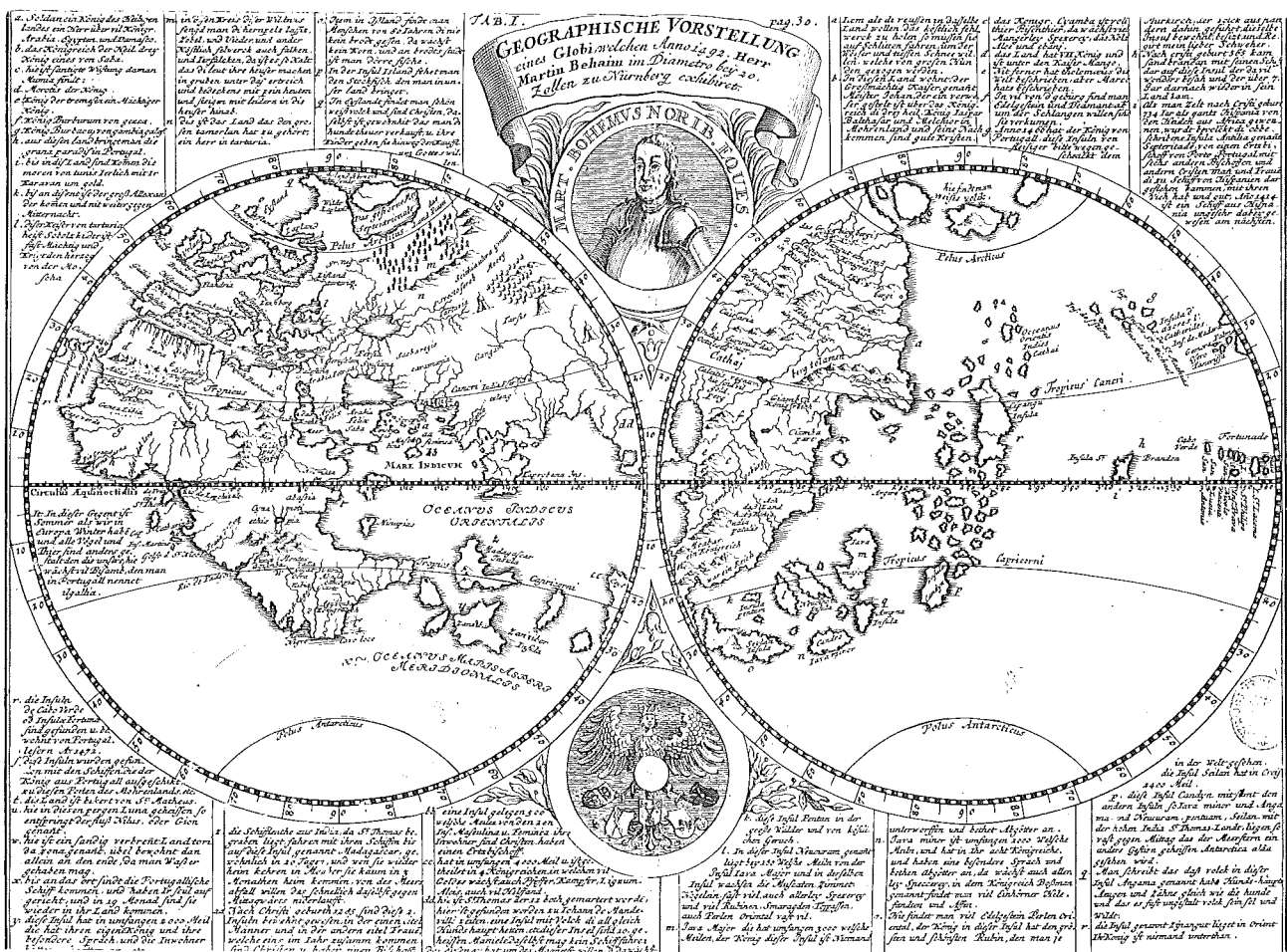
Jusqu'au milieu du XVII^e siècle, on croyait la Terre sphérique, et les cartes marines établies par les hydrographes du monde entier ont conservé cette hypothèse jusqu'au début du XIX^e siècle.

C'est alors que la terre s'aplatit

L'aplatissement prédit par Newton et Huyghens, est vérifié expérimentalement par les mesures d'arc de méridien effectuées en 1736 en Laponie par Clairaut et Maupertuis, et de 1735 à 1744 au Pérou par Bouguer et de la Condamine. Les premiers trouvèrent 57 420 toises (de 1,949 m) au degré, les seconds 56 750 seulement. La variation de la valeur de la minute de latitude, de l'ordre de 1 % entre l'équateur et la Laponie, est absolument négligeable pour le marin, sa vitesse n'étant pas mesu-

rée avec cette précision, et les positions géographiques, mesurées directement étant portées sur la carte.

La question évolua aux XIX^e et XX^e siècles lorsque des continents entiers furent couverts par des triangulations et que les hydrographes utilisèrent les coordonnées géodésiques au lieu des coordonnées géographiques alors que les marins ne déterminaient que ces dernières. La navigation astronomique étant cependant peu précise et les écarts entre les coordonnées géodésiques et géographiques faibles, le manque de cohérence entre les divers systèmes géodésiques ne posait de problèmes qu'aux hydrographes dans l'établissement des cartes des zones de raccordement. Il n'en est plus de même aujourd'hui : le marin dispose de procédés de navigation radioélectriques ou par satellite donnant une précision absolue de quelques mètres seulement, c'est-à-dire une précision meilleure que celle des systèmes géodésiques utilisés dans l'établissement de la carte, et les hydrographes, qui ne peuvent refaire toutes les cartes en quelques années, sont obligés de se contenter de publier des corrections, à ajouter aux coordonnées fournies par le calculateur pour reporter le point sur la carte. De même, les calculateurs de navigation par satellite exigent la distance exacte de l'antenne de réception au centre des masses de la Terre à quelques mètres près : un ellipsoïde de révolution est incapable de donner cette précision, et les cartes futures devront fournir l'écart entre le géoïde réel et l'ellipsoïde international adopté par les astronomes en 1976. A moins que la carte classique soit condamnée, que la future carte soit électronique, et que la figure de la Terre, c'est-à-dire l'ellipsoïde et les corrections pour passer au géoïde, soit introduite dans le calculateur sous forme d'harmoniques sphériques : nous sommes alors arrivés bien au-delà du problème qui a passionné les savants du début du XVIII^e siècle : la Terre a-t-elle la forme d'une orange ou d'un citron.



BIBLIOGRAPHIE

- 1 Père Georges Fournier "Hydrographie", 1643
- 2 Ingénieur Hydrographe en Chef Caspari "L'Astronomie et la Géodésie. Bulletin de la SAF, janvier 1906
- 3 Brachet et Dumarqué "Précis de Cosmographie", Delagrave, 1932
- 4 Commandant Charcot "Christophe Colomb", Flammarion, 1934
- 5 Pierre Rousseau "Histoire de la Science", Fayard, 1945
- 6 Lancelot Hogben "La Science pour Tous", Payot, 1949
- 7 André Danjon "Cosmographie", Hatier, 1948
- 8 Tardi "Mesure de la Terre" Revue "L'Astronomie", novembre 1951
- 9 Arnold Reymond "Histoire des sciences exactes et naturelles dans l'Antiquité Gréco-Romaine", PUF, 1955
- 10 Ferdinand Lallemand "Journal de bord de Pythéas", Editions de Paris, 1956
- 11 AC Crombie "Histoire des Sciences de Saint-Augustin à Galilée", PUF, 1959
- 12 Taylor et Richey "Le Marin Géométrique", EMOM, 1969

- 13 Robert de la Croix "Des Navires et des Hommes"
- 14 Ivan Kupcik "Cartes Géographiques Anciennes" Grund
- 15 Douglas Phillips-Birt "L'Art de Naviguer" EMOM, 1975
- 16 Ingénieur Général de l'Armement (Hydrographe) JN Pasquay "la carte marine aujourd'hui et demain", revue "L'Armement", mars 1986

Offre d'emploi

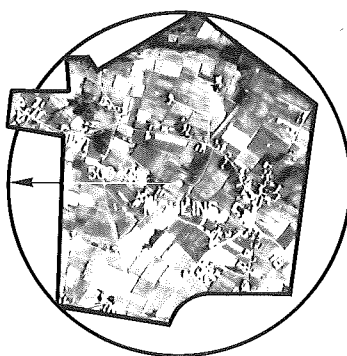
Géomètre-Expert recherche associé pour cabinet.
Ecrire GEO CENTER, BP 2024, ABIDJAN 11.

Sté rech. 1 analyste programmeur pour son bureau d'étude de topographie. Niveau minimum : examen préliminaire ou IUT (calcul scientifique). CV & prétentions à adresser à la revue. 3-87

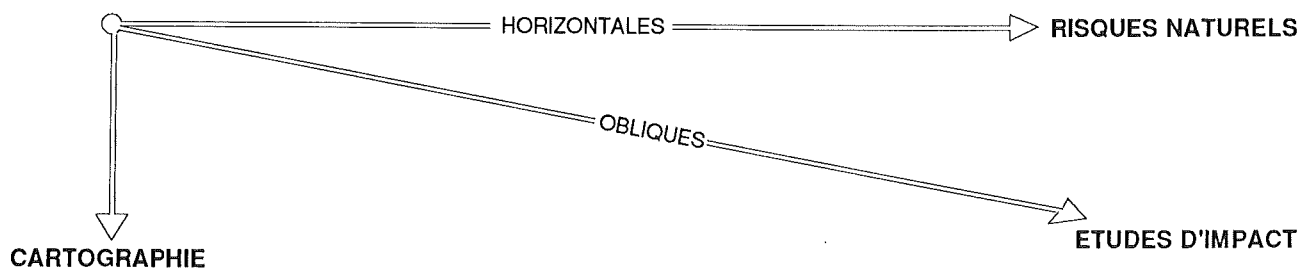
prises de vues aériennes

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

ACTUALITES A.F.T.

COLLOQUES-CONGRES-MANIFESTATIONS

COLLOQUE DE STRASBOURG DE L'ASSOCIATION FRANÇAISE DE TOPOGRAPHIE

15-17 OU 18 OCTOBRE 1987

LE CADASTRE Projet de programme

Exposition de travaux et de matériels pendant toute la durée du colloque

Judi 15 octobre à partir de 14 heures

- Le cadastre français : généralités, documentation, mise à jour et diffusion.
- Banque de données urbaines et cadastre.

Vendredi 16 octobre à partir de 9 heures

- Les cadastres d'Alsace-Moselle et sa relation avec le Livre Foncier ; d'Allemagne, de Grande-Bretagne, de Suède, de Suisse, de Tunisie...

Samedi 17 octobre de 9 heures à 13 heures

- Le système MAJIC 2
- Le projet de plan numérique du CNIG
- Le projet d'informatisation des plans cadastraux

Au-delà de 13 heures Repas amical

Dimanche le 18 octobre toute la journée

- Circuit touristique, sous réserve d'un nombre suffisant d'inscrits.

PRE-INSCRIPTION

M. N° AFT

Adresse :

envisage d'assister au Colloque de Strasbourg pendant les journées des :

- 15 octobre 87 ☐
- 16 octobre 87 ☐
- 17 octobre 87 ☐

et sera accompagné de personnes ; soit au total 1 + 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 personnes 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.

LA FONDATION FIAT FRANCE INSTITUT DE FRANCE

La Fondation Fiat France — Institut de France a pour objet d'encourager toute action d'ordre culturel, scientifique, économique ou social qu'elle estimerait devoir soutenir et entrant dans le cadre des missions de l'Institut de France.

La Fondation est administrée par un comité exécutif composé de six membres dont deux membres sont désignés par l'Insti-

tut de France, deux autres par la Société Fiat France, les deux derniers sont cooptés.

Le Comité exécutif définit chaque année une ou deux disciplines qui seront le cadre des aides ou récompenses attribuées par la Fondation Fiat France — Institut de France.

Un ou deux jurys de huit membres sont alors composés en fonction de la ou des disciplines retenues. Trois membres de droit appartiennent à l'Institut de France, trois sont désignés par la Société Fiat France et les deux derniers sont cooptés. Le jury est renouvelable chaque année.

Chaque jury se charge de faire une sélection des propositions qui lui sont soumises soit par ses membres soit directement par les candidats. Chaque jury décide d'un mode de présélection.

Le ou les jurys retiendront deux ou trois candidats au maximum, pour chaque récompense. En cas de partage des voix, celle du président est déterminante. L'Institut ou ses Académies désignent le lauréat parmi ces candidats.

La Fondation Fiat France — Institut de France s'engage à verser tous les ans une somme globale de 1 000 000 francs destinée aux lauréats retenus.

Des jurys seront formés pour choisir les lauréats dans les disciplines suivantes : l'archéologie dans ses aspects les plus novateurs, la musique dans ses liens avec les techniques les plus avancées, la sociologie, l'économie, l'intelligence artificielle, les problèmes de traduction, l'aménagement des espaces urbains historiques. Il appartiendra au Comité exécutif de confirmer ces propositions et d'en suggérer d'autres.

Fondation Fiat France — Institut de France, 23, quai de Conté, 75006 Paris.

CERN ACCELERATOR SCHOOL APPLIED GEODESY FOR PARTICLE ACCELERATORS

CERN, Geneva, Switzerland
14-18 April, 1986

Acte du colloque, éditeur S. Turner, Geneva 1987

Pour toutes informations, écrire à M. Mayoud, Organisation Européenne pour la Recherche Nucléaire CERN European Organization for Nuclear Research CH-1211 Genève Suisse/Switzerland France 23 F-01631 CERN cedex

EXPOSITION PARIS 1937

Cinquantenaire de l'Exposition internationale des Arts et des Techniques dans la vie moderne du 14 mai au 30 août 1937. Musée d'Art Moderne de la ville de Paris, 11, avenue du Président Wilson, 75116 Paris. Du mardi au dimanche de 10 h à 17 h 30, mercredi jusqu'à 20 h 30. Organisée par l'Institut Français d'Architecture produite par l'Institut Français d'Architecture/Paris-Musées.

Commissaire Général : Bertrand Lemoine — Commissaire Général Adjoint : Philippe Rivoirard.

Ouvres présentées : dessins, maquettes, photographies d'époque sur les principaux palais et pavillons français et étrangers. Peintures murales, esquisses et sculptures, objets décoratifs. Affiches et photographies d'auteur. Catalogue — coédition IFA/Paris-Musées, 480 pages dont 48 en couleurs.

L'Exposition Internationale des Arts et Techniques dans la vie moderne de 1937 fut la sixième et dernière grande exposition internationale organisée à Paris et en France. La célébration de ce cinquantenaire et la réalisation d'une exposition qui en montrera les multiples facettes est l'occasion d'évoquer ce qui fut à la fois une manifestation populaire d'envergure (32 millions de visiteurs) et une grande fête de l'architecture. Née sur l'initiative d'un député radical en 1929, enfantée avec douleur, elle

a traversé les tempêtes politiques pour être finalement inaugurée (avec retard) par le Front Populaire après un chantier entrecoupé de grèves. Elle a laissé une trace durable dans le paysage parisien et particulièrement sur la colline de Chaillot, avec le nouveau Palais du Trocadéro et ses fontaines, le Musée d'Art Moderne (Palais de Tokyo) entre le quai de New York et l'avenue du Président Wilson, qui abritera précisément cette manifestation du cinquantenaire. Ces deux monuments d'un "classicisme moderne" comptent parmi les plus importants que les XX^e siècle ait laissés à Paris.

D'autres bâtiments ont aussi marqué cette Exposition, en particulier les pavillons de l'Allemagne par Speer et de l'URSS par Iofan, dont le monumental face à face architectural préfigurait les affrontements à venir, tandis que celui de l'Espagne par Sert et Lacasa montrait à travers le Guernica de Picasso un pays déchiré par la guerre civile. La tour de la Paix qui marquait le point culminant de l'Exposition se voulait le symbole des nations enfin réconciliées. Moins dramatique, le pavillon de la Tchécoslovaquie, tout en métal et verre, exprimait les ambitions industrielles de ce pays, tandis que celui de la Finlande par Aalto, tout en bois, illustrait la force de la tradition dans l'architecture moderne finlandaise.



Quant aux architectes français, les modernes tels que Mallet-Stevens ou Pingusson ont trouvé à s'exprimer au travers de nombreux pavillons, Le Corbusier, trop ambitieux au départ, devant se contenter de la tente abritant l'exposition des Temps Nouveaux. Malgré ses projets, Perret n'a laissé que le Musée des Travaux Publics (aujourd'hui Conseil Economique et Social), inauguré seulement en 1939. Ce fut aussi l'occasion pour une génération d'architectes que l'on redécouvre aujourd'hui comme Patout, Camelot, Sardou ou Tournon, de montrer la vitalité de l'architecture française à l'opinion internationale.

Le courant moderne a en effet rencontré à l'Exposition une audience publique qu'il n'avait jamais eue auparavant et le régionalisme y a sans doute occupé pour la dernière fois une place reconnue dans la production architecturale. Quant au classicisme des grands palais, que l'on retrouve du Pacifique à l'Oural en passant par Berlin, il est symptomatique d'une époque qui cherche à conjurer ses crises en exaltant le rôle de l'Etat. Le peintre Ozenfant n'a-t-il pas reconnu que le monumental Palais de Chaillot était "d'une dignité telle que la III^e République n'en avait jamais obtenue dans aucun de ses palais officiels ?"

Les nombreux concours préparatoires et les quelque trois cents pavillons construits pour l'Exposition ont permis à un très grand nombre d'artistes de s'exprimer en accord avec les architectes. Renouant avec une tradition classique, peintres et sculpteurs ont pleinement participé à l'architecture. La technique, qui avec l'art constituait le thème de l'Exposition, fut représentée à travers diverses attractions, comme la retransmission publique d'émissions de télévision, un accent particulier mis sur la radio et le cinéma, et surtout par le Palais de la Découverte, dont le succès fut tel qu'il fut conservé comme musée permanent. Les illuminations nombreuses et l'accent mis sur la lumière et l'électricité (par exemple la grande fresque de Dufy sur ce thème) témoignent aussi de l'ambition de faire de l'Exposition le médium d'une technique bienfaisante et pacificatrice.

La présence conjointe de photographies et de dessins d'architecture, de maquettes et d'éléments décoratifs, de sculptures ou de grandes compositions, d'objets décoratifs, d'affiches et objets ayant directement trait à l'Exposition, d'une section de photographies d'auteurs (en l'occurrence centrée sur le Suisse Hugo Herdeg) offrira un panorama d'ensemble de l'Expo 37 en accord avec l'esprit même de cette manifestation, traduisant sa diversité, ses temps forts, ses incertitudes.

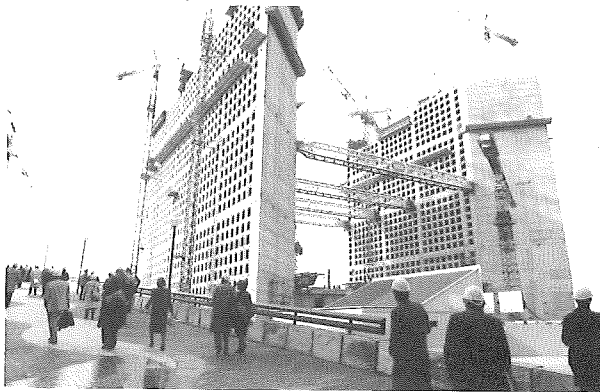
INTERNAT 88 EXPOSITION INTERNATIONALE DE MATERIELS ET TECHNIQUES POUR LES TRAVAUX PUBLICS ET LE BATIMENT.

LES ORGANISATEURS D'EXPOMAT ET D'INTERNAT VIENNENT DE SIGNER UN ACCORD

Un accord est intervenu entre les organisateurs d'Expomat et d'Intermat en vue de rapprocher leurs moyens pour réaliser Intermat 88 dans les meilleures conditions.

Ce salon, présidé par M. Pierre Bataille, a été créé à l'initiative des Syndicats MTPS et MTPM (dont les Présidents sont respectivement M. Pierre Durand et M. Olivier Monnoyeur) et soutenu par la FNTF.

Dans le cadre de ce rapprochement, M. Emile Willeme, Président Directeur Général d'Expomat, qui entrera au Comité de Promotion présidé par M. Jean-Louis Giral, devient Administrateur de la Société d'Exploitation Intermat.



Les professions du BTP disposeront ainsi en 1988 d'une seule manifestation internationale : Intermat-Expomat.

S'appuyant sur l'expérience d'Expomat, CEP Communication à travers ses filiales SEPIC et Publications du Moniteur, assurera pour le compte des professions l'organisation d'Intermat.

Objectif : doter la France de la première manifestation mondiale de la profession.

Organisation SE Intermat
17, rue d'Uzès, 75002 Paris
Tél. : (33.1) 42.33.88.77.
Paris-Nord Villepinte 16-21 mai 1988

VII^e SYMPOSIUM DE LA COMMISSION "INSTRUMENTS SCIENTIFIQUES" DE L'UIHPS

Paris, 15-19 septembre 1987

Le VII^e Symposium de la Commission "Instruments scientifiques" de l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences se tiendra à la Cité des Sciences et de l'Industrie, à Paris, du mardi 15 septembre au samedi 19 septembre 1987 (et non pas du 14 au 18 septembre comme il a été précédemment annoncé).

Le Symposium est organisé par le Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques de la CSI.

Les organisateurs souhaitent consacrer des sessions aux thèmes suivants (sous réserve de propositions suffisantes) :

- les instruments dans l'antiquité et au moyen âge ;
- les relations entre l'imprimerie et la construction d'instruments ;
- les instruments du XX^e siècle

Cependant, ces thèmes ne limitent aucunement le propos du Symposium, et des communications sur tous les aspects de l'histoire des instruments scientifiques seront les bienvenues.

Renseignements : Centre de Recherche en Histoire des Sciences et des Techniques, VII^e Symposium Instruments Scientifiques, Cité des Sciences et de l'Industrie, 75930 Paris cedex 19.



Le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) et la Société SPOT IMAGE organisent avec le concours de l'Institut Géographique National (IGN), du 23 au 27 novembre 1987, à Paris (France) un colloque international sur les principaux résultats d'utilisation des images SPOT.

Les objectifs de ce colloque sont :

— La présentation des résultats du programme PEPS (Programme d'Evaluation Préliminaire SPOT).

Ce programme est destiné à évaluer l'apport des images SPOT dans les différents domaines d'applications. En 1984, à la suite d'un appel à propositions international, 130 propositions émanant de différents organismes ou laboratoires avaient été sélectionnées par un jury international.

Il s'agit pour les investigateurs retenus de présenter à ce colloque les principaux résultats qu'ils ont obtenus dans le cadre de ce programme.

— La présentation des résultats d'utilisation des images SPOT obtenus par des groupes de recherche ou d'études en télédétection

A cet effet, un appel à communications est ouvert à l'ensemble de la communauté internationale des utilisateurs qui ne sont pas directement impliqués dans le programme PEPS. Une sélection des meilleurs résultats sera effectuée à l'occasion de ce colloque.

BIBLIOGRAPHIE

BELIN

EDITIONS BELIN — 8, rue Férou — 75006 Paris.
Tél. : (1) 46.34.21.42 - Téléc. : 202978.

HISTOIRE DE L'ECOLE POLYTECHNIQUE

A. Fourcy. Introduction et notes de Jean Dhombres.

Réédition en fac-similé de l'ouvrage paru en 1828.

Un livre indispensable à quiconque s'intéresse à l'histoire des sciences et des techniques à la fin du 18^e siècle et au début du 19^e, ainsi qu'à l'histoire des mentalités et à la mise en place du système de formation des ingénieurs civils ou militaires en France.

DOUZE CLES POUR L'ELECTRONIQUE

Entretiens radiodiffusés d'Emile-Noël avec Michel Camus.

Une production Belin-France Culture.

En douze entretiens, E. Noël et M. Camus exposent la genèse explosive de la révolution électronique et son impact sur la vie quotidienne.

LES MOTS DU VIN ET DE L'IVRESSE

M. Christian-Courtois. Illustrations de Cabu.

"C'est au fond des verres que naissent les expressions truculentes. La boisson, dans notre bon pays, ne date pas d'hier et les mots ont une histoire. L'auteur nous la raconte, citations à l'appui".

LES MOTS D'ORIGINE GOURMANDE

C. Guillemard. Illustrations de Sabatier.

GFFIL - 24, rue de l'Arcade - 75008 PARIS
Tél. : (1) 42.65.78.99.

GROUPEMENT FRANÇAIS DES FOURNISSEURS D'INFORMATION EN LIGNE

La Commission Juridique du Groupement Français des Fournisseurs d'Information en Ligne (GFFIL) vient de publier aux Editions Dalloz un important rapport sur les "Relations contractuelles des producteurs de bases et banques de données".

Les auteurs de l'ouvrage, M. Lucien Mehl, Conseiller d'Etat honoraire et Mlle Henriette Mignot, ancien directeur de la banque de données juridiques Sydoni et Administrateur au Conseil Supérieur du Notariat.

• L'Ingénieur du futur :

Environnement général
l'Ingénieur dans ce contexte

• Les Voies d'avenir pour une formation adaptée :

- Chez les acteurs du changement,
 - Enseignement Supérieur
 - Entreprises
 - Organismes de Formation Continue
- par des actions concertées
 - Enseignement Supérieur ↔ Entreprises
 - Enseignement Supérieur ↔ Organismes de Formation Continue
- Entreprises ↔ Organismes de Formation Continue

XIX^e ASSEMBLEE GENERALE DE L'UNION GEODESIQUE ET GEOPHYSIQUE INTERNATIONALE

DU 9 AU 22 AOUT 1987 - VANCOUVER
COLOMBIE-BRITANNIQUE - CANADA

XIX^e Assemblée Générale de l'UGGI, #801-750 Jervis Street-Vancouver C.-B., Canada - V6E 2A9. Tél. : (604) 681-5226

Jean Richer

GEOGRAPHIE SACREE DU MONDE GREC

Dans Géographie sacrée du monde grec, Jean Richer expose comment, principalement à partir de l'étude des orientations "anormales" des temples d'Apollon et de l'examen des plus anciennes monnaies des villes grecques, il a pu reconstituer trois grandes "roues zodiacales" centrées, respectivement, sur Delphes, Délos et Sardes. Edition Trédaniel

TERROIRS ET VINS DE FRANCE

Itinéraires œnologiques et géologiques sous la direction de Charles Pomerol.
2^e édition

Ouvrage réalisé avec le concours du CREDIT AGRICOLE.
TOTAL-Edition-Presses-PARIS
Editions du BRGM ORLEANS

Bien que de nombreux ouvrages sur les vins aient été publiés au cours des dernières années, aucun d'entre eux n'envisage d'une manière précise et systématique les relations entre le vignoble et son terroir.

TERROIRS ET VINS DE FRANCE a pour objectif d'illustrer comment, sous le sol des vignobles, les roches du sous-sol jouent un rôle dans la production et la qualité du vin, et comment la sève de la terre, absorbée puis élaborée par la vigne, influence la personnalité des vins.

Saviez-vous qu'en Bourgogne deux cépages, le pinot noir pour les vins rouges et le chardonnay pour les blancs affectionnent plus particulièrement certains calcaires d'un âge bien déterminé ?

qu'en Beaujolais un autre cépage, le gamay, produit de grands crus distincts suivant qu'il pousse sur les schistes ou sur le granite ?

qu'en Champagne, le prestigieux vignoble s'épanouit sur un sol profondément amendé où se marient le blanc de la craie et le noir de l'argile ligniteuse ?

25 auteurs géologues et œnologues donnent des treize grandes régions viticoles de France un aperçu de l'histoire du vignoble et du travail des vignerons, puis présentent les terroirs (roche, sols, climat, exposition) ainsi que les cépages que l'on retrouve ensuite en parcourant la cinquantaine d'itinéraires proposés.

Pour accéder au plaisir de la dégustation rien ne vaut en effet le retour aux sources, l'excursion en pays viticole, la découverte du monde des vignerons sur leur terroir, la connaissance de l'évolution de leur savoir-faire : sans oublier l'alliance des vins de choix et des mets délicats qui les mettent en valeur...

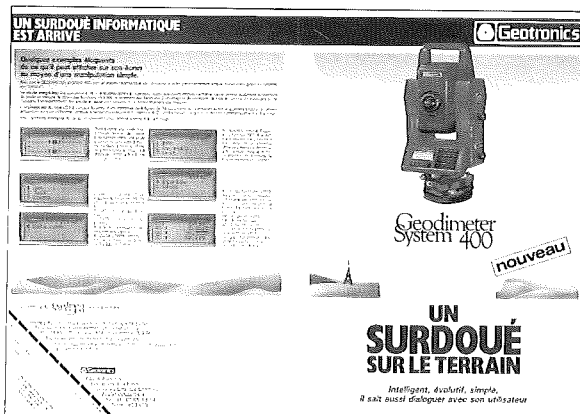
1

POUR LA TOTALITE DE VOS TRAVAUX

le

 **Geodimeter 440**

"SURDOUÉ"
du Système 400



Constitue à ce jour
la meilleure réponse
apportée à
la demande
des géomètres

★ L'AMPLEUR DU SUCCÈS COMMERCIAL
REMPORTÉ PAR CET INSTRUMENT
LANCÉ SEULEMENT EN SEPTEMBRE 1986
ATTESTE L'AUTHENTICITÉ
DE CETTE AFFIRMATION

 **Geotronics**

Parc d'activité Les portes de la Forêt
Allée du Clos des Charmes
COLLEGIEN 77400 LAGNY
Tél : (1) 60 05 13 14
Télex : 693 099
Télécopieur : (1) 60 17 40 56

2

POUR LES TRAVAUX COURANTS

le

 **Geodimeter 420**

RAPPORT QUALITE / PRIX
EXCEPTIONNEL

NOUVEL INSTRUMENT
du Système 400

**Vous apporte
des performances
basées sur
le même concept
technologique**



Nom _____

Société _____

Adresse _____

Désire recevoir une documentation
sur le Geodimeter 440 ☐
sur le Geodimeter 420 ☐

En arpentant les textes anciens

par Michel SAUTREAU

Le premier essai de levé cadastral effectué avec le concours de la photographie terrestre

(Extrait des procès-verbaux de la Commission extra-parlementaire du Cadastre
Sous-Commission technique - Séance du 12 février 1895)

Méthode photo-cadastrale conçue par M. GAULTIER

L'instrument de lever se compose d'un cercle répétiteur et d'une chambre noire à distance focale de 0,30 m. Il est disposé de manière à permettre de faire successivement, à chaque point de station, un tour d'horizon trigonométrique et un tour d'horizon photographique, c'est-à-dire d'effectuer simultanément et la triangulation subsidiaire et le lever parcellaire. A Saint-Cyr-l'Ecole, le réseau trigonométrique s'est trouvé aussi comporter des points distants de 300 mètres, en moyenne, les uns des autres. Le tour d'horizon photographique s'effectue au moyen de huit clichés, qui embrassent chacun un secteur de cinquante grades et sur lesquels se repèrent photographiquement une ligne horizontale et une ligne verticale. La construction de l'appareil, ses moyens de mise en station, de calage et de rectification permettent d'éliminer toute erreur d'excentricité dans son mouvement de rotation et de donner à la plaque sensible une position absolument invariable par rapport à l'axe optique de l'objectif photographique. Il faut, en moyenne, un cliché par hectare.

Les points à lever sont marqués sur le terrain par des jalons en métal munis d'un voyant portant un numéro d'ordre. Ce numéro est reporté sur un croquis visuel qui doit être dressé au cours du jalonnement avec le plus grand soin.

Le plan est d'abord construit sur une feuille de papier collée sur une planche de zinc ; il est ensuite reporté et gravé sur cette planche, ce qui permet d'en obtenir, à peu de frais, un nombre illimité de reproductions.

Les points trigonométriques qui, ainsi qu'il vient d'être dit, sont en même temps des points de station photographique, y sont rapportés, comme dans les autres

méthodes, par leurs coordonnées rectangulaires, mais leur position est, en outre, contrôlée graphiquement, comme celle des points de détail, par plusieurs recoupements.

La position de chacun de ces derniers points se détermine par trois recoupements au moins, et le plus souvent par quatre ou cinq, à l'aide du point de projection de chaque jalon sur la ligne d'horizon des clichés et du rapport de ce point sur le côté correspondant d'un octogone régulier circonscrit à un cercle de rayon égal à la distance focale de l'objectif. Le rapport du plan peut donc s'effectuer exactement et sûrement puisque ce travail porte en lui-même sa vérification.

Les plans levés par M. Gaultier ne donnent pas seulement la planimétrie du terrain ; la méthode photographique lui a aussi permis de déterminer l'altitude d'un certain nombre de points levés, en mesurant, sur les clichés, la distance de ces points à la ligne d'horizon des plaques photographiques.

M. Gaultier déclare que ce procédé de nivellement permet de déterminer l'altitude des différents points du plan avec une approximation de deux décimètres.

Sur les divers champs d'expériences où il a opéré, M. Gaultier a effectué, au moment du lever, un certain nombre de chaînages entre points fixes, afin de pouvoir ultérieurement vérifier lui-même l'exactitude de son travail. Il déclare que la comparaison des longueurs ainsi mesurées sur le terrain avec celles qu'il a prises sur les plans a fait ressortir un écart de 0,10 m sur 500 mètres.

Les records du temps

par Roger SCHAFFNER

1 — Le vent ►

- a — 333 km/h à Thuile (Groenland)
- b — 306 km/h à Miyakojima (Iles Ryukuyu)
- c — 372 km/h en surface au mont Washington
303 km/h pendant 5 minutes
206 km/h moyenne 24 heures (New-Hampshire)
112 km/h moyenne 1 mois
- d — 174 km/h en 24 heures à Port Martin
105 km/h en 1 mois (Antarctique)

2 — La pluie ■

Moyennes annuelles

- a — 11,68 mètres au Mont Waialeale (Hawaï)
- b — 10,29 mètres à Debundja (Cameroun)
- c — 8,99 mètres à Quibdo (Colombie)
- d — 6,50 mètres au Lac Henderson (Col. Brit.)

- e — 4,65 mètres à Crivica (Yougoslavie)
- f — 4,55 mètres à Tully (Australie)
- g — 0,0025 mètre au Wadi Halfa (Soudan)
- h — 0,0008 mètre à Arica (Chili) où il n'y a pas eu de pluie pendant 14 années consécutives.

Maxima limités dans le temps

- j — 26,47 mètres en 12 mois à Cherrapundji
9,30 mètres en 1 mois (Indes)
- k — 3,86 mètres en 5 jours à Cilaos
1,88 mètre en 24 heures (Réunion)
1,35 mètre en 12 heures à Belouve
- l — 0,305 mètre en 42 minutes à Holt (Missouri)
- m — 0,205 mètre en 20 minutes à Curtea de Arges (Roumanie)
- n — 0,031 mètre en 1 minute à Unionville (Maryland)

3 — La neige *

- a — 28,50 mètres en une saison à Rainier (Etat de Washington)
- b — 11,45 mètres d'épaisseur mesurée à Tamareck (Californie)
- c — 4,80 mètres en une chute au Mont Shasta (Californie)
- d — 1,92 mètre en 24 heures à Silver Lake (Colorado)
- e — 1,72 mètre en 19 heures à Bessans (Savoie)

4 — La température

Moyennes basses ▼

- a — — 89° à Vostok (Antarctique)
- b — — 68° à Verkoyansk et Oimekon (Sibérie)
- c — — 66° à Northice (Groenland)
- d — — 63° à Snag (Yukon)
- e — — 57° à la Station Plateau (Antarctique)
— 73° en un mois
- f — — 55° à Ust Schugor (URSS)
- g — — 33° à Sarmiento (Argentine)
- h — — 24° à Ifrane (Maroc)
- j — — 22° au Col Charlotte (Australie)

Moyennes hautes ▲

- k — 58° à El Azizia (Libye)
- l — 57° dans la Vallée de la Mort (Californie)
- m — 54° à Tirat TSVI (Israël)
- n — 53° à Cloncurry (Australie)
- p — 50° à Séville (Espagne)

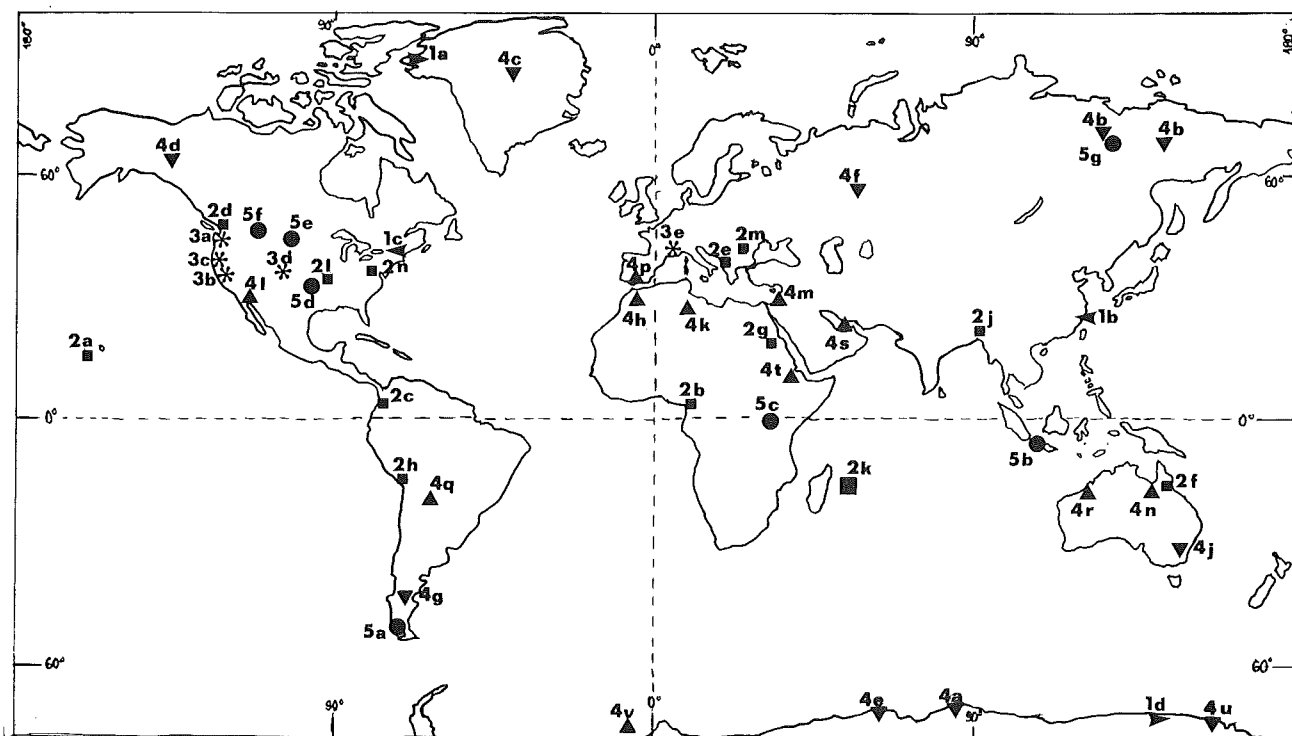
- q — 49° à Rivadavia (Argentine)
- r — 38° à Marble Bar (Australie)
- s — 36° dans le Golfe Persique
- t — 35° à Dallol (Ethiopie)
- u — 15° à la Station Vanda (Antarctique)
- v — (— 14°) au Pôle Sud

5 — Autres constats

- a — 325 jours de pluie dans l'année à Bahia-Félix (Chili)
- b — 322 jours d'orage dans l'année à Bogor (Indonésie)
- c — 242 jours d'orage dans l'année à Kampala (Uganda)
- d — Un grelon de 44,5 cm de diamètre à Coffeyville (Kansas)
- e — Hausse de température de 27° en 2 minutes à Spearfish (Dakota Sud)
- f — Chute de température de 56° en 24 heures à Browning (Montana)
- g — Différence entre les plus hautes et les plus basses températures de 102° à Verkoyansk (Sibérie)

Extrait de la revue "Professional Surveyor" de septembre/octobre 1986 et selon les renseignements obtenus auprès des Laboratoires Topographiques des Ingénieurs Militaires US de Fort Belvoir, Virginie (1985).

Il serait hautement intéressant d'obtenir ce genre de renseignements auprès de notre météorologie nationale en ce qui concerne la France.



RECREATIONS MATHEMATIQUES

par Michel SAUTREAU

A la demande du Comité de rédaction de la revue XYZ, je reprends, à compter de 1987, la rubrique des récréations mathématiques, que j'avais dû abandonner en 1983.

A l'époque, j'avais proposé deux petits problèmes, dont les solutions n'ont jamais été publiées. Je les repose donc aujourd'hui pour tous les nouveaux membres de notre association, en les accompagnant d'un troisième, inédit, lui.

J'invite ceux qui sont intéressés par ces récréations mathématiques à me faire parvenir, si possible dans le mois qui suit la réception de la revue, leurs solutions à l'adresse suivante :

Michel Sautreau
1, allée des Sycomores
92330 Sceaux

1. Le test de connaissances générales

Lors d'un test de connaissances générales, 10 questions (numérotées de 1 à 10) sont posées aux candidats et, pour chaque question, 4 réponses possibles (identifiées par A, B, C, D) leur sont proposées, une seule de ces réponses étant, bien entendu, exacte.

A la correction, il est attribué à chaque candidat une note, de 0 à 10, correspondant au nombre de réponses exactes.

Le tableau ci-dessous donne les réponses fournies par Jean, Pierre, Paul et Jacques, ainsi que les notes qu'ils ont obtenues respectivement :

	Question n°										Note
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Jean	C	A	A	D	A	D	A	A	A	B	7
Pierre	D	D	C	A	C	A	D	B	B	A	3
Paul	C	A	D	D	C	A	B	B	B	A	6
Jacques	D	A	D	B	C	D	B	B	C	B	5

Déterminer, à l'aide de ces résultats, quelles sont les réponses qu'il fallait donner à chaque question pour obtenir 10/10 au test.

2. La poule et l'œuf

Depuis la suppression, dans l'enseignement primaire, de la bonne vieille "règle de trois", telle qu'on l'appliquait naguère, bêtement mais avec un résultat certain à la clé, tous ceux qui ont des enfants d'âge scolaire peuvent témoigner des difficultés rencontrées par leur progéniture pour calculer le prix d'achat de 7 œufs sachant que la douzaine coûte 9,72 francs. Cette réflexion m'a d'ailleurs valu la réplique suivante, de la part d'un jeune instituteur : "Votre problème est l'exemple type de l'inutilité de la règle de trois puisque, de nos jours, les œufs

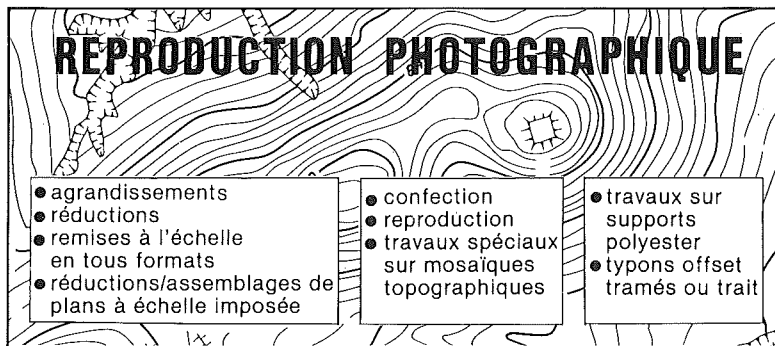
s'achètent par douzaine ou par demi-douzaine !" Cela m'a inspiré le problème suivant :

D'après les récentes statistiques américaines, 1 poule $1/2$ pondrait 1 œuf $1/2$ en 1 jour $1/2$. Dans les mêmes conditions de rendement, combien pondront 9 poules en 9 jours ?

3. Le Roi sur l'échiquier

Sur un échiquier classique (8×8 cases), le Roi est placé sur la case supérieure gauche. Ce Roi se déplace toujours vers le bas, en avançant d'une seule case, soit verticalement (\downarrow), soit en diagonale gauche (\swarrow), soit en diagonale droite (\searrow).

Pour des déplacements effectués dans ces conditions, évaluer le nombre de trajets que le Roi peut emprunter pour atteindre chaque case du bas de l'échiquier.



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 équipage de choc pour le plus gros monocoque

Pour la seconde fois, les étudiants géomètres de l'INST participaient à la Course de l'EDHEC. Cette année ils couraient sur un monocoque de 17 m armé en 1^{re} catégorie et ceci sous les couleurs de Wild-Géomètres-Experts. La Fédération des Géomètres-Experts s'était associée au fabricant Wild pour sponsoriser le bateau.

L'équipage était composé de 14 personnes dont 4 skippers professionnels déjà connus dans le milieu de la voile, 9 étudiants géomètres et 1 géomètre-expert ayant gagné le concours (M. Triplet à Pont Audemer).

La course a débuté le 22 avril par le ralliement La Trinité Brest auquel participait l'équipage, accompagné de 2 Géomètres-Experts (M. Brun à Ensisheim-68 et M. Viart à Châtillon - 21).

LA PRESSE EN PARLE

Wild Géomètres-Experts a franchi, dans la plupart des régates, la ligne d'arrivée le premier dans sa catégorie, c'est-à-dire après les multicoques.

D'ailleurs, jugez-en vous-mêmes :

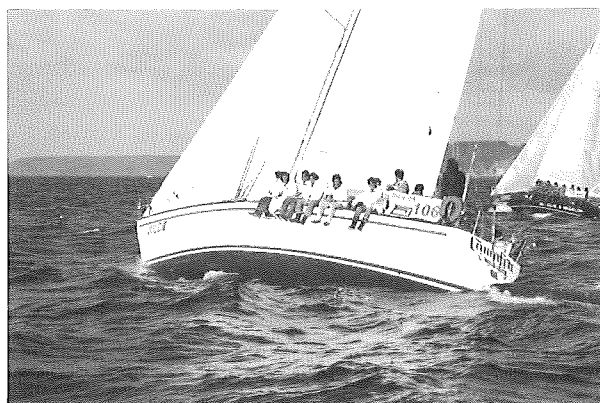
Ouest-France samedi, dimanche 24-25 avril 87.

"Parmi les multicoques, la hiérarchie est bien établie. Le premier one-tonner Wild-Géomètre est arrivé peu après les formules 40, suivi de Turquoise".

"Le premier monocoque, le one tonner Wild Géomètre (skippé par Stéphane Le Bec) a coupé la ligne quelque temps plus tard (après les 4 premiers catamarans).

Les Géomètres bretons témoins

Michel Gouinguene le Directeur de la division GEO chez Wild, et M. Jacques Breton, Président du Conseil supérieur de l'Ordre des Géomètres, sont venus encourager et féliciter l'équipage.



Wild Géomètre dépassant St-Pierre-et-Miquelon un autre monocoque de sa catégorie.

Mais ils n'étaient pas seuls ! En effet les Géomètres de Bretagne avaient profité du fait que leur assemblée régionale se tenait à Landernau les vendredi 24 et samedi 25 avril pour venir sur le port de Morgat le vendredi soir et assister au départ de la course le samedi matin.

Ils ont pu voir au passage d'ailleurs le bateau sponsorisé par les Notaires de France et celui des Avocats. Les professions libérales étaient donc décidément bien représentées.

M. Breton a salué ce partenariat exemplaire qui a réuni, une entreprise, une profession libérale et le milieu étudiant. Il a insisté sur la nécessité de se rapprocher et d'aider les futurs Géomètres.

Le temps passera mais les souvenirs resteront !

NOUVEAUX

ATLAS ROUTIERS FRANCE PAR MICHELIN

Atlas routier broché
 Carte des grands itinéraires
 Carte de la banlieue parisienne
 Tableaux des distances et temps de parcours
 180 pages de cartes au 1/200 000
 10 pages d'index de 6000 localités avec les plans des agglomérations de Bordeaux, Dijon, Lille, Lyon, Marseille, Nantes, Rouen, Strasbourg, Toulouse
 2 pages de plans de Paris
 Format 285 x 395
 Prix public 85 F

Atlas routier relié
 Informations routières
 Signalisation
 Grands itinéraires
 Conduire en France
 Carte des environs de Paris
 Carte des routes enneigées
 267 pages de cartes au 1/200 000
 66 pages d'index de 38 000 localités
 52 plans de villes
 15 pages avec le plan de Paris et l'index de 900 rues
 Cartes et tableaux des distances France et Europe. Format 245 x 315
 Prix public 180 F

TOUTE LA FRANCE À L'ÉCHELLE 1/200 000 (1 cm : 2 km) SUR LA CARTOGRAPHIE MICHELIN :
 LE MODÈLE DE CLARTÉ ET DE PRÉCISION DES CARTES ROUTIÈRES ET TOURISTIQUES.

AVEC MICHELIN VOUS AVEZ LA FRANCE EN MAIN !

Le coin cuisine d'XYZ

Huîtres au feu

Préparation : 30 minutes
Cuisson : 20 minutes environ

Pour 4 personnes :

2 douzaines d'huîtres "spéciales"
250 g de champignons
1 cuillerée à soupe de farine
1 verre de vin blanc
80 g de beurre
1 dl de crème fraîche
100 g de chapelure
Quelques brins de persil
1 kg de gros sel

Ouvrez les huîtres, détachez-les de leur coquille. Récupérez leur eau et filtrez-la. Conservez le fond de chaque coquille et nettoyez-le soigneusement.

Placez les huîtres dans une casserole avec le vin blanc et leur eau filtrée. Faites chauffer à feu moyen et, dès

que le liquide frémit, laissez pocher 2 minutes. Mettez ensuite les huîtres à égoutter dans une passoire à pieds. Gardez en réserve le jus de la cuisson.

Faites revenir les champignons, préalablement lavés et émincés, dans 30 g de beurre. Ajoutez la farine et faites-la roussir légèrement. Mouillez alors avec le jus de cuisson des huîtres. Mélangez le tout pour lier la sauce.

Ajoutez la crème fraîche, salez, poivrez et laissez cuire 1 minute à découvert et à feu doux.

Préchauffez le four (thermostat à 6). Répartissez la sauce dans chaque coquille, placez les huîtres sur la sauce, parsemez de persil hâché, saupoudrez de chapelure et arrosez du reste de beurre préalablement fondu.

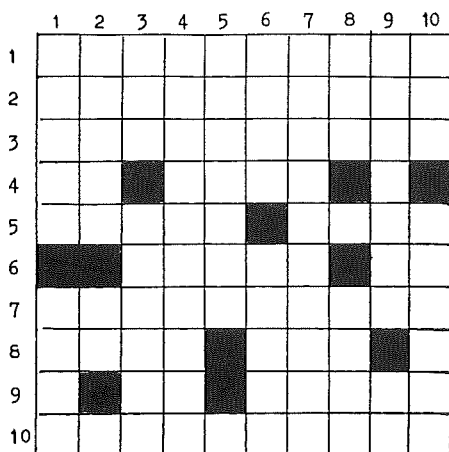
Versez le gros sel sur la plaque du four et enfoncez-y les coquilles d'huîtres garnies comme expliqué ci-dessus de telle sorte qu'elles soient bien calées. Réglez le four sur la position gril et faites gratiner environ 2 minutes.

Servez immédiatement.

M.M.S.

Mots croisés

PROBLEME N° 1



Horizontalement. — 1. Prisons. — 2. Sont à louer. — 3. Instrument à vent. — 4. Tranche de pâté. Amateurs de son. — 5. Homme à propos. Envoyé du ciel. — 6. Formait masse, jadis. Morceau de tourte. — 7. Un grand du Périgord. — 8. De droite à gauche : ne manquait pas de souffle. Saint-Pierre. — 9. Grecque. Plus légère. — 10. Etreintes.

Verticalement. — Territoire du Brésil. Chef de corps. — 2. A son code. Symbole chimique. — 3. Lieu de réparation. Assurance. — 4. Ses ballades ne sont guère appréciées. — 5. Surprise. — 6. Ne tourne pas rond. Fondateur de Byzance. — 7. Inattendues. — 8. Chef d'Ottoman. Réagit contre l'oppression. — 9. Arbuste à fruits noirs. Voyelles de voyelles. — 10. Direction. Pénibles. La solution est donnée en page).

1986 — 250° ANNIVERSAIRE DE LA MISSION DE L'ACADEMIE DES SCIENCES EN LAPONIE ET AU PEROU

