

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.

sommaire

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

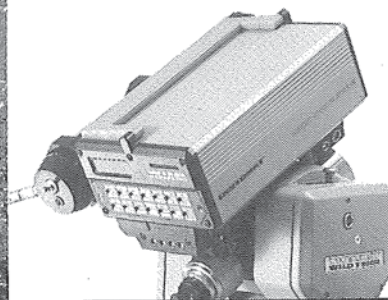
ENVOYER VOTRE PORTE-MIRE N'IMPORTE OU



**La solution:
la mesure sans réflecteur avec
le Wild DIOR 3002**

Certaines mesures dans l'industrie et l'ingénierie entre autres posaient de nombreux problèmes que l'on résoud maintenant avec le DIOR 3002; 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 bâtures 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).

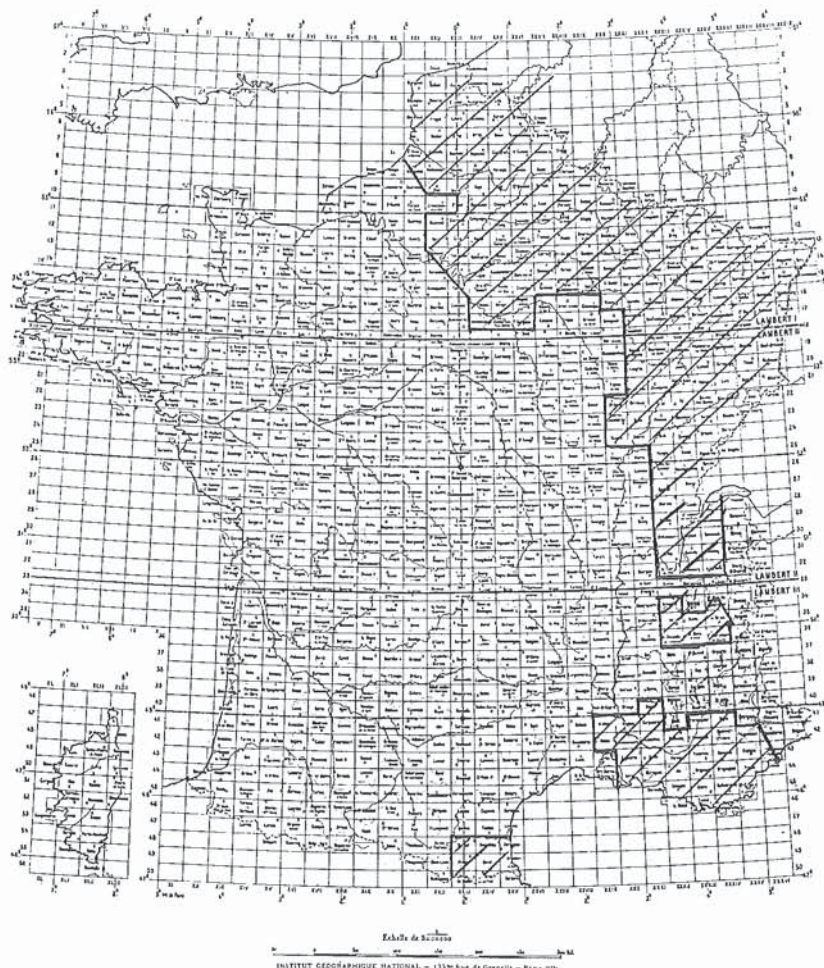


Fig. 55

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 pré-cisaient 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 !

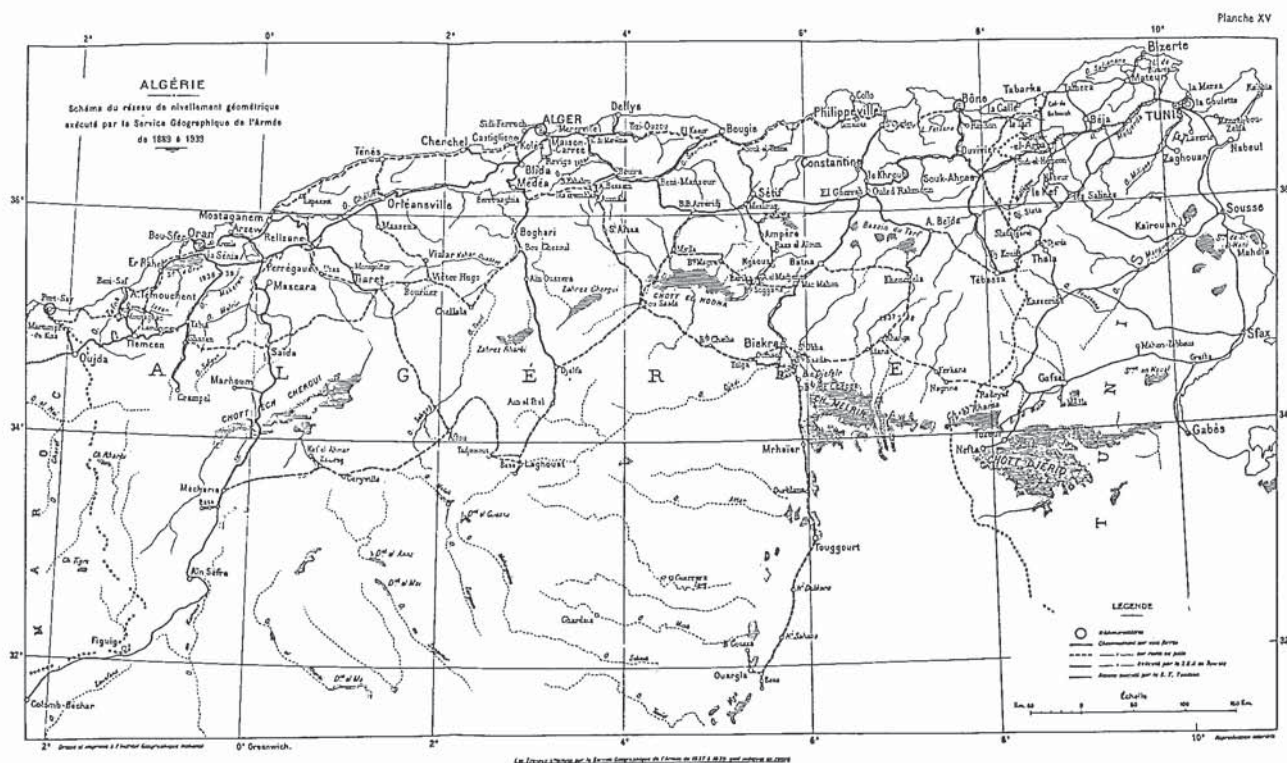


Fig. 56

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 colonnes, 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 Djbel 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 Ghazaouet) (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 médimarèmes, 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

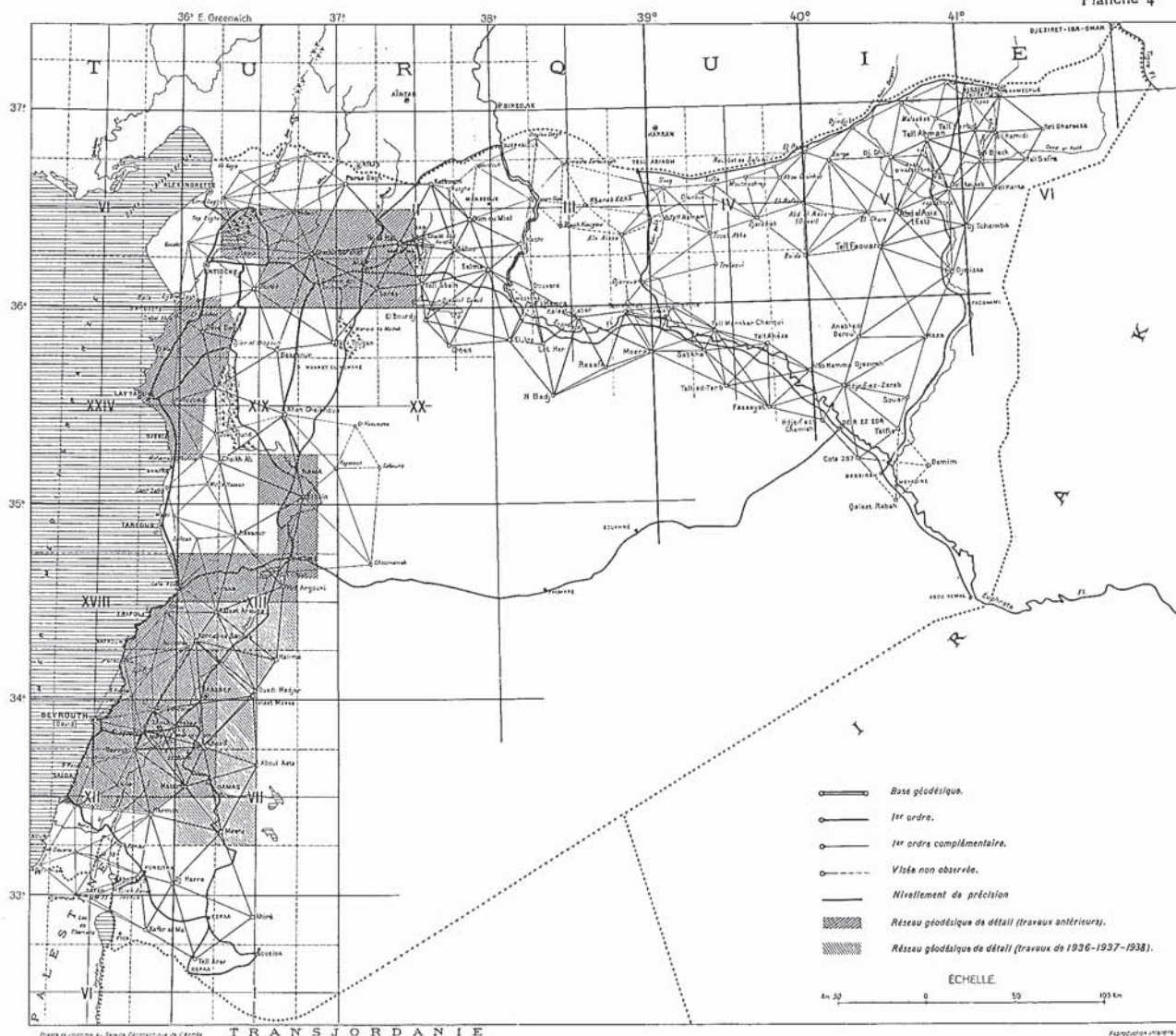


Fig. 58

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.

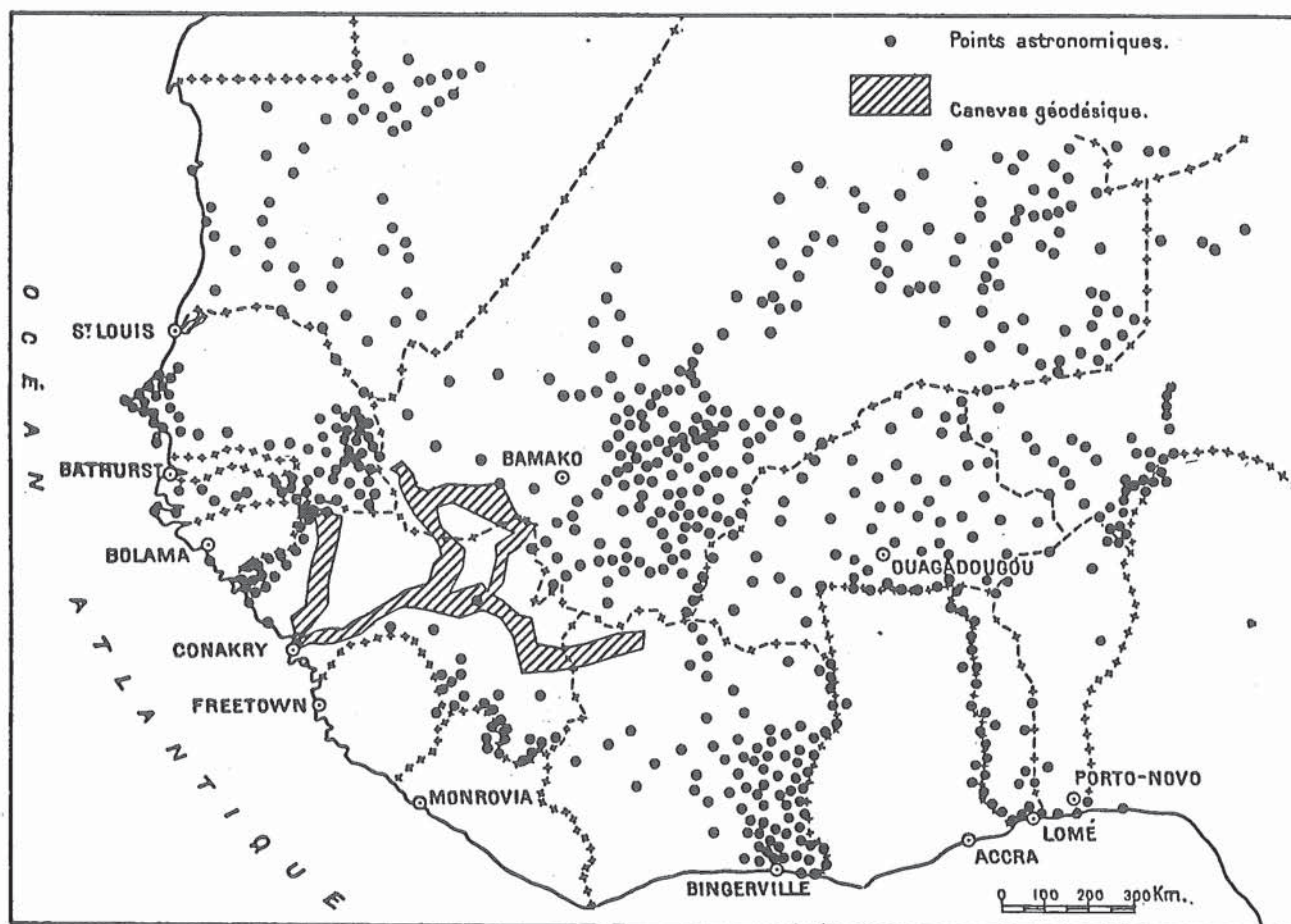
Le personnel opérateur était du personnel militaire des troupes coloniales — infanterie, artillerie coloniale — le personnel sédentaire étant presque toujours fourni et instruit sur place pour assurer les travaux sédentaires de cartographie. Ce service géographique local prenait en général la succession

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

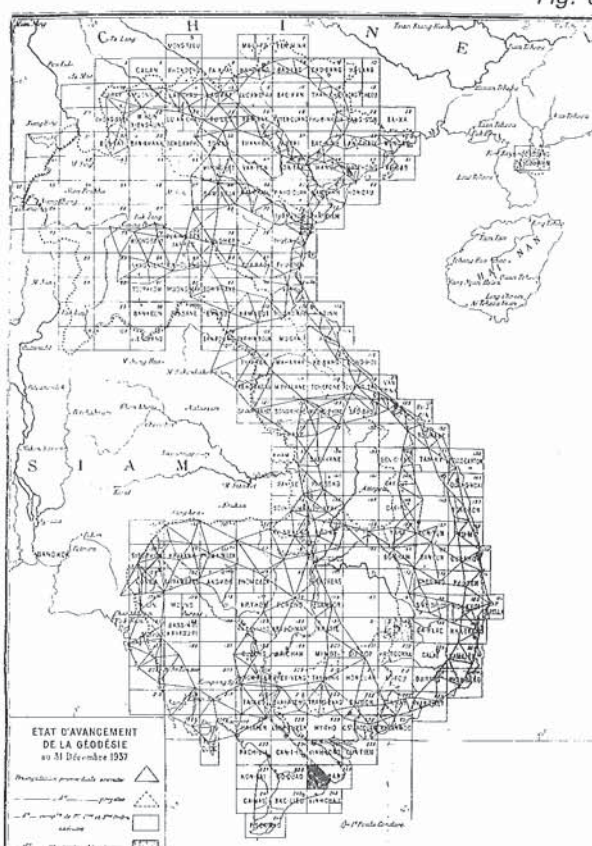


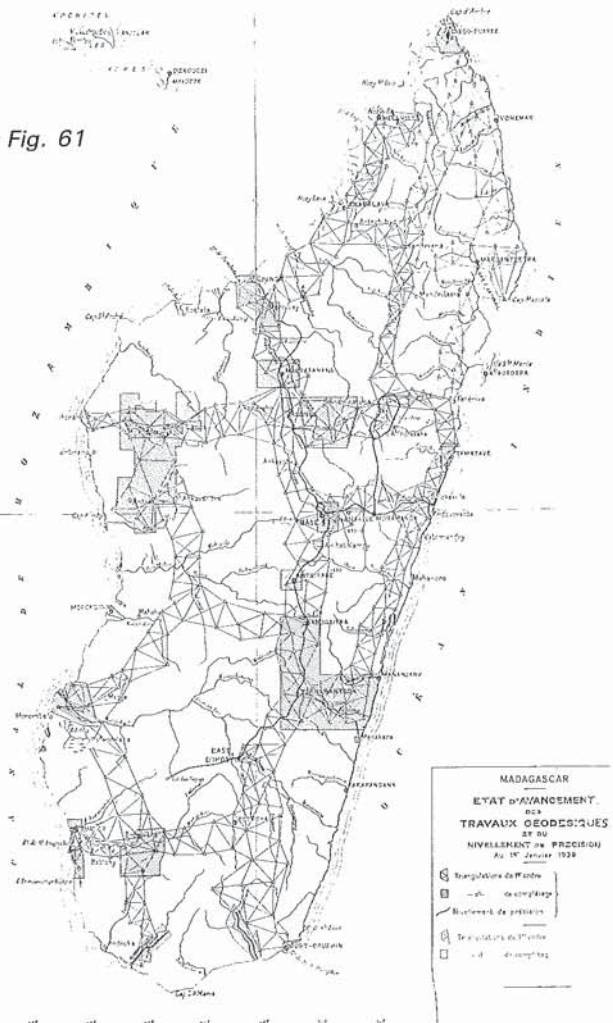
Fig. 60

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-

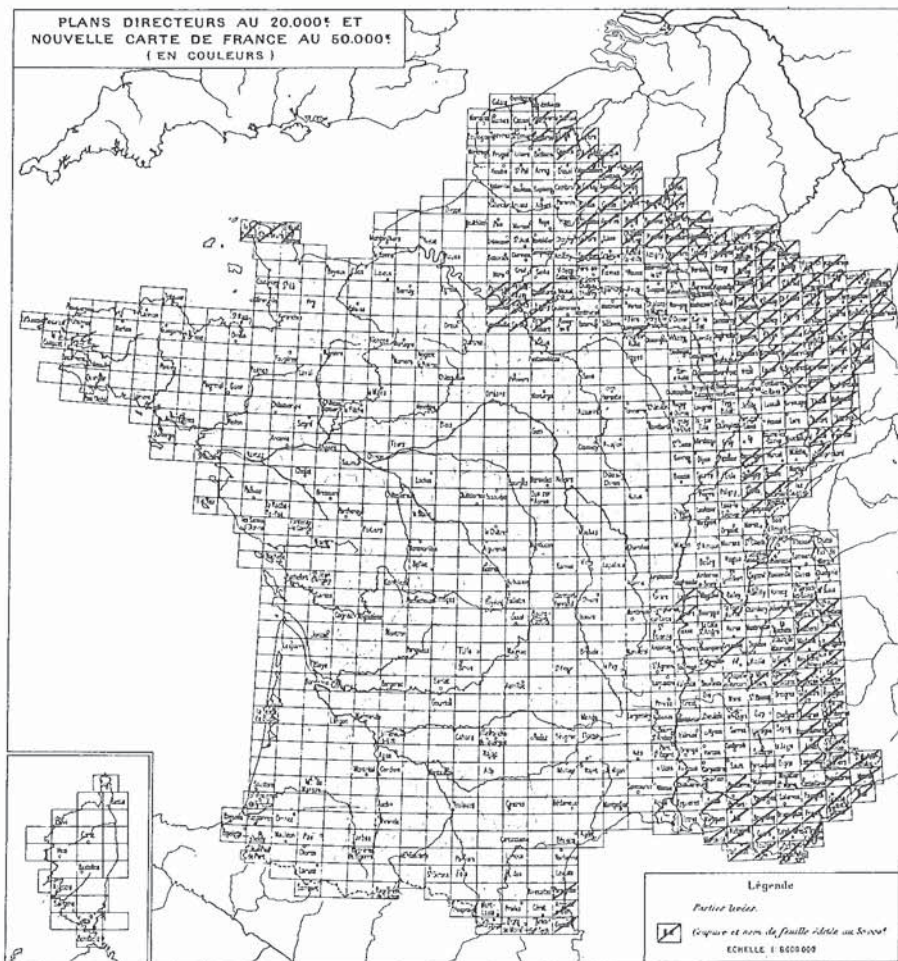


Fig. 62

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 clairessemées 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 :

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

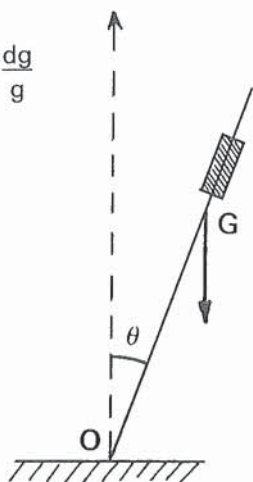


Fig. 63

(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 pesantier 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 regionalement 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 inscrivirent.

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 ± 0 s 007 était au contraire de l'ordre de ± 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.*