

Trois cents ans de géodésie française (suite)

par J.-J. LEVALLOIS
Ingénieur Général Géographe

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

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

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

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

Le Service Géographique de l'Armée

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

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

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

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

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

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

Il fallait donc un organisme de liaison.

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

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

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

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

- les besoins des usagers sont variés et parfois inconciliables ;

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

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

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

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

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

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

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

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

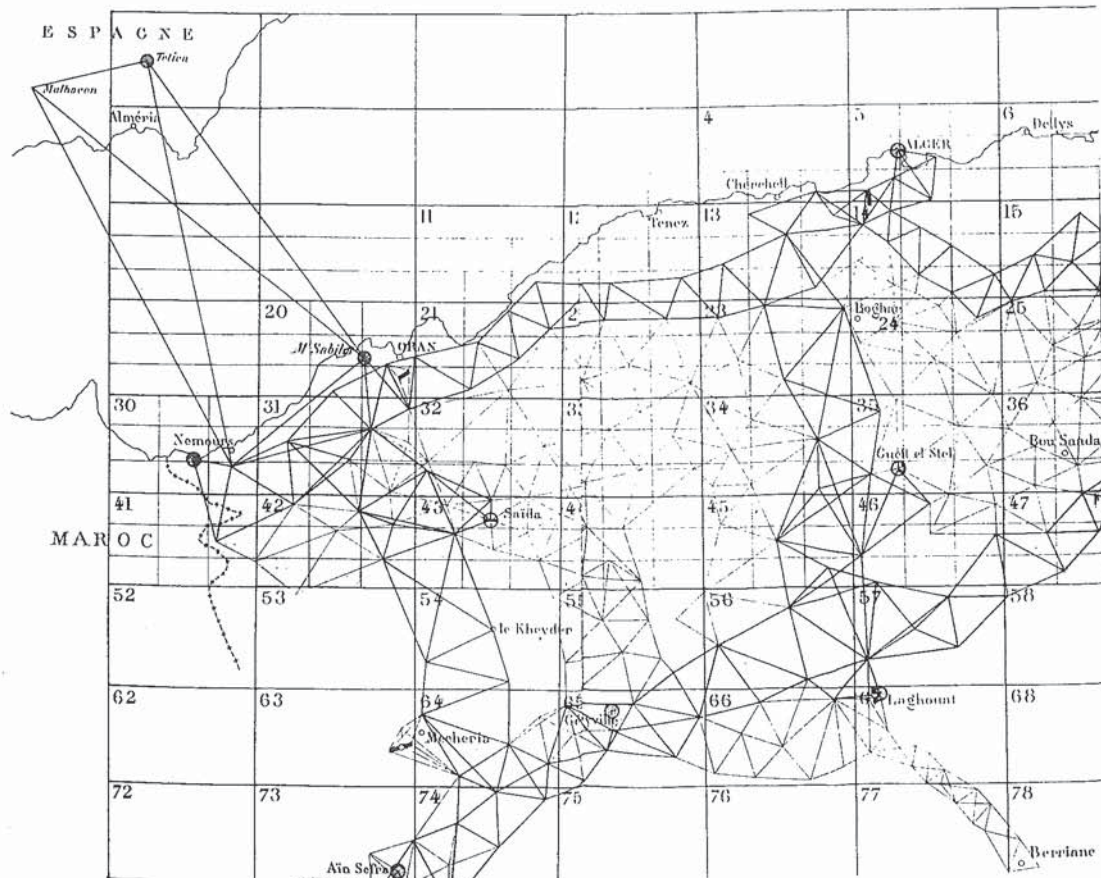
Tout ceci en fait visait à doter la France d'un canevas trigonométrique correct. La triangulation des IG base de la carte au 1/80 000 ne pouvait guère convenir, contrairement aux espoirs de la Sous-Commission.

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

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

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

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



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

L'œuvre géodésique du SGA de 1890 à 1914

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

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

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

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

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

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

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

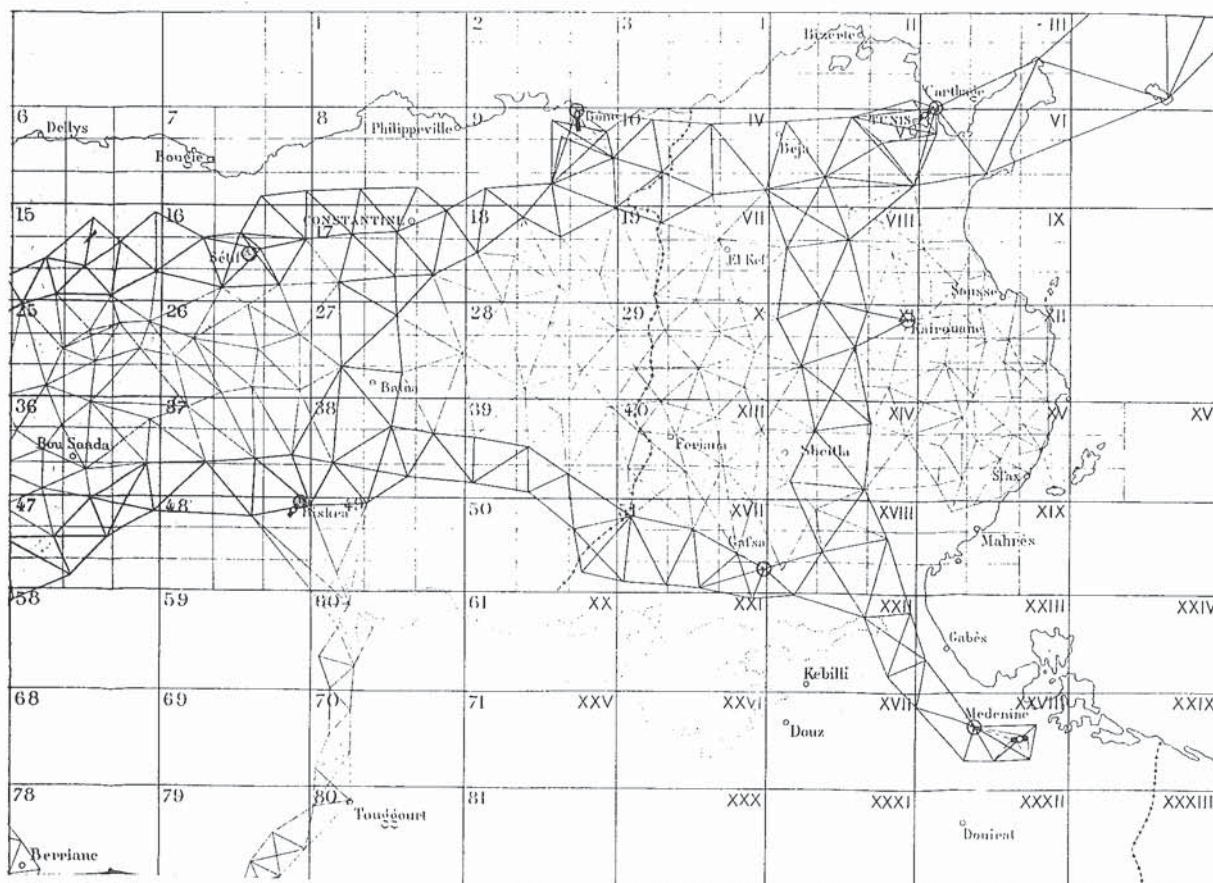
— les blocs correspondants de 1^{er} ordre complémentaire.

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

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

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

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



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

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

L'arc méridien de l'Equateur

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

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

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

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

— que l'Académie émette un avis favorable au projet

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

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

Ce rapport fut adopté.

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

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

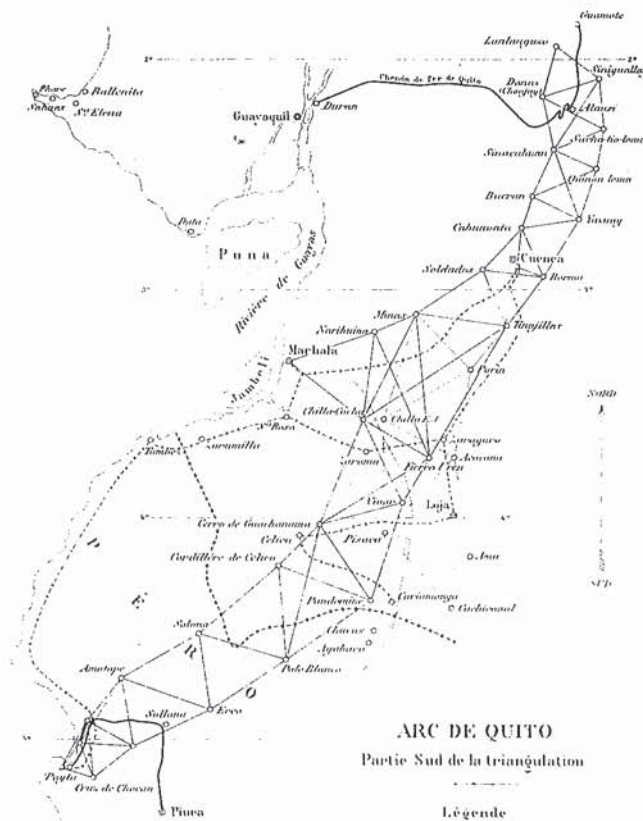
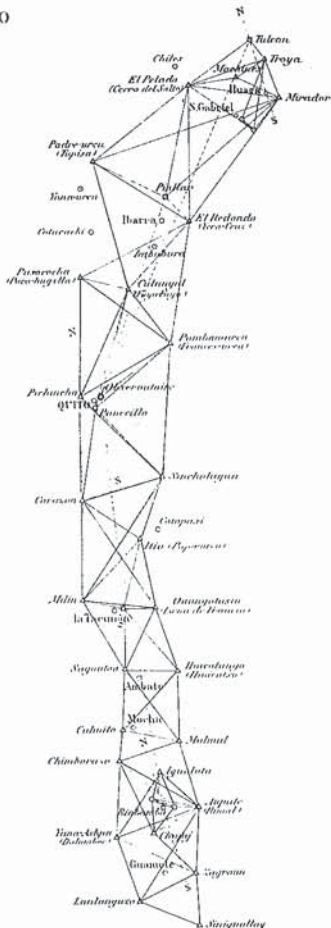
Il s'appuyait sur trois bases, Cumbal au Nord (Colombie), Riobamba au Centre (Equateur), Quiroz au Sud (Pérou).

ARC MÉRIDIEN DE QUITO

Partie Nord de la Triangulation

Signes conventionnels

Côté de la Triangulation
Base géodésique
Différence de Longitude
Azimut
Sommet géodésique
Station astronomique
Observatoire de Quito
Localités importantes
Sommet de montagne



ARC DE QUITO

Partie Sud de la triangulation

Légende

— Enchaînement projeté en 1893
— Enchaînement réalisé en 1899
--- Lignes télegraphiques
--- Limite des grandes altitudes de la Cordillère

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

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

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

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

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

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

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

De l'enseignement de la géodésie

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

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

Seule l'Ecole Polytechnique, où d'ailleurs se

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

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

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

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

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

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

Le Service du Nivellement Général de la France

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

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

L'article premier définissait ainsi ses attributions :

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

La Commission s'adjoignait quelques mois plus

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

Après étude soignée elle proposa le programme suivant :

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

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

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

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

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

RÉSEAU FONDAMENTAL DU NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE.



LÉGENDE.

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

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

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

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

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

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

“Le Ministre des Travaux Publics... arrête :

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

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

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

Réseau du NGF

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Comparaison avec le réseau Bourdaloue

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

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



Fig. 51

LÉGENDE:

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

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

Les acteurs :

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

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

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

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

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

Nivellement d'Afrique du Nord

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

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

Retour sur la notion d'altitude

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

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

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

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

Convention du mètre — Bureau International des poids et mesures

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

Le métal Invar

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

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

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

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

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

Astronomie géodésique — Navigation

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

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

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

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

Astrolabe à prisme

La méthode nommée méthode des droites de

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

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

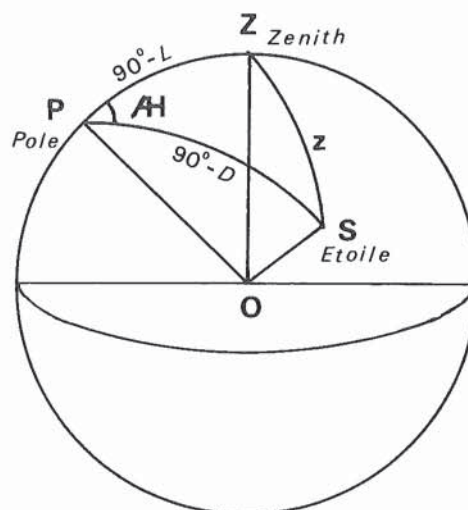


fig. 52

On connaît : z distance zénithale observée.

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

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

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

$\cos z' = \sin L \sin D' + \cos L \cos D' \cos (HS'_0 + (M - M_0) - AR)$ à l'heure H'_s repéré sur le chronomètre. On a donc 2 inconnues L, $(M - M_0)$ liées par 2 équations que l'on peut résoudre. Bien entendu on multiplie les observations et on traite l'ensemble pour en tirer les inconnues.

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

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

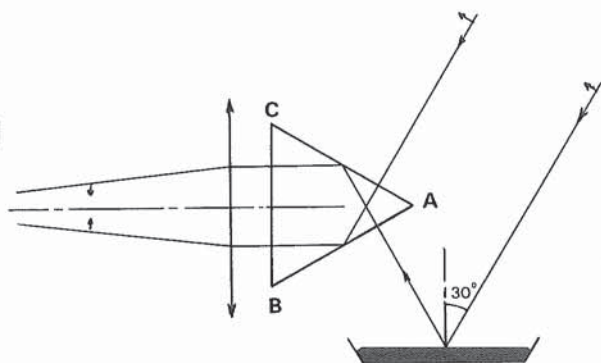


Fig. 53

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

Signaux horaires radiotélégraphiques

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

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

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

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

Les signaux horaires émis étaient pilotés par les

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

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

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

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

Géodésie de Guerre

Adoption de la Projection de Lambert

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Principes

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

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

Application à la guerre de position

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

Projection de Bonne

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Passage des systèmes existants à la projection de Bonne

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

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

Critique de la projection de Bonne

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

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

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

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

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

Problème général

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Conclusion

Ordre rationnel des opérations

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

méridien origine : 6,0 grades Est de Paris

parallèle origine : 55 grades

extension de latitude : 52 g 50 — 57 g 50

limite ouest d'application des tables, méridien de Paris

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

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

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

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

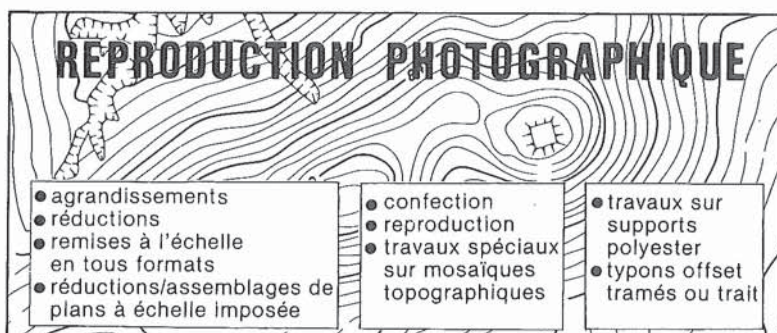
Lambert 1 — parallèle origine 55 grades

Lambert 2 — parallèle origine 52 grades

Lambert 3 — parallèle origine 49 grades

avec zone de recouvrement de 1 grade.

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



REPRODUCTION PHOTOGRAPHIQUE

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

HAUTE PRECISION



PHOTO-REPROGRAPHIE PHOTO-CARTOGRAPHIE

LES APPLICATIONS DE LA
REPRODUCTION TECHNIQUE

5, rue de la Véga
75012 PARIS

(1) 43.47.15.92