

# Trois cents ans de géodésie française (suite)

---

par J.-J. LEVALLOIS  
Ingénieur Général Géographe

## X — Vers la nouvelle triangulation

### L'éclipse

Le Colonel Puissant, véritable exécuteur testamentaire de Laplace dans le domaine de la géodésie trigonométrique, meurt en 1843. Peytier observe en 1844 les derniers triangles de premier ordre complémentaire du réseau des Ingénieurs géographes, les ultimes visées de 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> ordre des feuilles de la carte d'Etat-Major seront observées en 1854 (Rozet - feuilles de Digne et de Saint-Martin-Vésubie). Le Dépôt de la Guerre concentre alors toute son activité sur la topographie de la carte au 1/80 000 et les géodésiens y sont affectés ou procèdent en Algérie à des travaux expédiés : le Colonel Levret qui a succédé en 1854 à Peytier, lui-même successeur de Corabœuf à la Direction "géodésie, topographie, dessin et gravure" du Dépôt de la Guerre, n'a plus de brigade géodésique sous ses ordres en France métropolitaine.

En fait et déjà depuis un certain temps la géodésie française subissait une rude concurrence et perdait du terrain par rapport à l'Etranger ; nous essayons ci-dessous d'en rechercher quelques causes.

— L'œuvre de Delambre et Méchain avait suscité à l'Etranger une immense émulation scientifique et attiré, sur la géodésie, l'attention de quelques savants de premier plan qui avaient à la fois poursuivi les études théoriques, perfectionné l'instrumentation et les méthodes d'observation, procédé à des opérations importantes (Gauss, Bessel, Struve, Everest, Airy, Clarke...).

— Inversement la tendance française était de considérer qu'au point de vue de la science fondamentale tout était dit depuis l'époque de la méridienne de France et de son prolongement espagnol jusqu'aux Baléares et que le sujet était, au moins momentanément, épuisé.

D'autre part, en 1817, la Commission Royale de la Carte de France avait décidé que l'exécution du canevas trigonométrique serait confiée au Corps Royal des Ingénieurs Géographes militaires, comme nous l'avons vu ; l'Observatoire de Paris était donc amené à s'occuper d'autre chose et à délaisser les études géodésiques : les autres sujets ne manquaient pas.

— Le Bureau des Longitudes, par son statut, aurait eu vocation à stimuler l'Observatoire dont il

assurait alors la direction et à servir de mentor scientifique aux opérations géodésiques du Dépôt de la Guerre, il était même prévu que "les observations astronomiques, notamment celles de longitude, relatives à la perpendiculaire de Strasbourg à Brest" lui seraient réservées, mais elles furent, sur leur demande, confiées aux Ingénieurs géographes Bonne et Henry, dont le travail examiné ultérieurement, fut sérieusement critiqué par Puissant, (6) et dut être repris au moins partiellement. La liaison scientifique était donc mal assurée.

— Le Corps des Ingénieurs Géographes avait été supprimé — une fois de plus — en 1831 et fusionné avec le Corps d'Etat-Major. Cette disposition, à priori critiquée dès 1835 par Ch. Dupin (6), fut cependant maintenue. Elle permettait sans doute d'initier les jeunes officiers d'Etat-Major aux travaux géodésiques et topographiques, donc d'augmenter le nombre des opérateurs disponibles pour la confection de la carte au 1/80 000 ; mais en imposant aux Ingénieurs Géographes authentiques l'affectation d'Etat-Major, elle ne pouvait que les inciter à s'y assimiler, et, ne serait-ce que pour leur avancement, à infléchir une partie de leurs activités vers d'autres sujets au détriment d'études et de réflexions sur l'évolution de la géodésie.

De plus, la discipline militaire, l'extrême minutie des instructions sur les méthodes d'observation et de calcul, ne favorisaient guère l'esprit d'initiative individuelle ni la discussion des méthodes, d'autant plus que l'achèvement de la carte au 1/80 000 avait la haute priorité.

Peytier, sous-directeur du Dépôt de la Guerre en 1852 et 1853, n'a sous ses ordres que des brigades de détail et se plaint du manque d'intérêt pour la Géodésie. "On laisse perdre la tradition, on ne forme plus d'élèves pour la géodésie. On ne pense qu'à une chose : finir la carte le plus tôt possible" (38).

Bref, coupée des sources scientifiques renouvratrices, négligée par ceux-là même qui auraient dû en assurer le présent et l'avenir, la géodésie française, propriété privée du Dépôt de la Guerre, assez mal entretenue, sans communication avec l'extérieur, était en plein déclin.

Les sujets d'études et de réflexion ne manquaient pourtant pas. Les travaux étrangers avaient montré :

— que la mesure des bases devait être perfectionnée,



— que les méthodes de mesures angulaires, ainsi que les instruments pouvaient et devaient être améliorés,

— que l'influence des masses extérieures au géoïde devait être étudiée et évaluée avec soin, si on voulait pouvoir comparer correctement les déterminations astronomique et géodésique d'une même station,

— que l'invention toute récente de la télégraphie avec fil (Morse - USA - 1835) apportait au problème des longitudes astronomiques une solution très satisfaisante,

— que les méthodes de calcul des réseaux étaient insuffisantes.

Pris en permanence par le service : six mois de terrain en Algérie, calculs de la mission de retour en France, les congés nécessaires, le peu de géodésiens qui restaient n'avaient pas le temps d'échapper à la routine.

### Longitudes télégraphiques

On rappelle que le problème des longitudes consiste à mesurer l'angle du méridien d'une station inconnue avec le méridien origine. Il revient à déterminer l'heure sidérale locale qui, comme on sait, découle uniquement de l'observation des étoiles, et à connaître **au même instant** l'heure sidérale du méridien origine. Il avait reçu en navigation des solutions admissibles par l'emploi de chronomètres perfectionnés réglés sur l'heure du méridien origine, conservant cette heure à quelques secondes près. Géodésiens et astronomes étaient beaucoup plus exigeants.

— La simultanéité des déterminations de l'heure sidérale était à l'époque de Cassini assurée par l'observation des éclipses des satellites de Jupiter.

— Ultérieurement, par observation des signaux de feu, permettant de comparer les horloges.

— Le télégraphe, par sa transmission quasi instantanée, dont la vitesse pouvait être évaluée dans un circuit connu, permettait un réglage beaucoup plus précis.

Les américains avaient vers 1840 fait des expériences concluantes.

En mai 1845 Arago, Directeur de l'Observatoire de Paris, présentait au Bureau des Longitudes, un appareil conçu par Bréguet pour les expériences de télégraphie électrique, et expliquait que ce mode de communication pourrait servir à la détermination précise de la différence de longitude entre les points les plus éloignés du Royaume (compte rendu du B.d.L. du 14.05.1845).

En 1851-1852 le gouvernement faisait connaître son intention de relier dans un même réseau télégraphique les chefs-lieux de tous les départements et faisait part de son projet à l'Académie des Sciences.

L'astronome Faye saisit la balle au bond : "... Je propose de déterminer, par les procédés nouveaux dont la science dispose, non seulement les longitudes mais encore les latitudes astronomiques de tous nos chefs-lieux et de les comparer aux coordonnées géodésiques déjà connues, afin de... met-

tre en relief les irrégularités locales dont la surface du sphéroïde terrestre peut être affectée..." (CRADS - 1852), sur quoi le Général Blondel, qui venait de prendre en 1853 le commandement du Dépôt de la Guerre, qu'il exercera jusqu'en 1867, répondait dans une lettre à l'Académie : "... Les idées exprimées par M. Faye... avaient déjà occupé la pensée des officiers d'Etat-Major du Dépôt de la Guerre... Ils s'applaudiraient de marcher dans cette voie sous les inspirations de l'Académie des Sciences... Dans cette idée, j'ai cru convenable d'offrir à l'Académie des Sciences, sauf l'approbation du Ministre..., les concours des Officiers d'Etat-Major du Dépôt de la Guerre pour la réalisation des projets préconisés par M. Faye...". Au cours de cette séance, Arago faisait connaître, comme suite à cette lettre, que le Bureau des Longitudes et l'Observatoire de Paris étaient sur le point d'aborder le problème et de mesurer la différence de longitude entre Paris et Greenwich pour laquelle on n'attendait plus que l'accord des Anglais, dont les préparatifs étaient en cours.

Arago mourait peu après, Le Verrier lui succéda.

Dès sa nomination, il se préoccupait de la question, préparait le matériel, les instruments et les méthodes, si bien qu'en 1856, assisté du Commandant Rozet du corps d'Etat-Major, il mesurait la différence de longitude télégraphique entre l'Observatoire de Paris et un point de la région de Bourges, rattaché par triangulation à la station de 1<sup>er</sup> ordre du réseau des Ingénieurs Géographes, et en 1861, s'attaquait à la différence de longitude Paris-Le Havre : il s'agissait en effet d'installer dans cette station une horloge très précise, réglée sur l'heure sidérale locale, susceptible de régler les chronomètres des navires au long cours.

Il disposait de la lunette méridienne de Gambéy, à Paris, et d'une lunette méridienne du Dépôt de la Guerre installée au Havre, chacune d'elle déterminant l'heure sidérale locale et l'enregistrant sur l'horloge. Les deux observateurs (Le Verrier et Lepissier) avaient comparé au préalable leurs équations personnelles. Pour comparer les 2 horloges et assurer la simultanéité des lectures du temps. Le Verrier avait fait implanter dans chaque station un électro-aimant (relais) excité par les "tops" d'un même signal très bref. Les retards en avaient été soigneusement étudiés ; la vitesse de propagation fut jugée quasi instantanée. C'est ainsi qu'il obtint :

	le 17.11.61 : 8 m 55 s 06
Paris-Le Havre	le 18.11.61 : 8 m 55 s 31
(CRADS 1863)	le 19.11.61 : 8 m 55 s 05
	le 20.11.61 : 8 m 54 s 95

à comparer avec la dispersion dans la mesure par signaux de feu.

Il faisait en même temps sonder les azimuts de la méridienne de Delambre par Yvon Villarceau, un de ses fidèles, qui y constatait de graves anomalies, sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement.

Dès 1859, il s'était préoccupé de perfectionner les méthodes et appareils de mesure des bases (CRADS - 1863).

Cependant, tout le monde ne voyait pas ces travaux d'un bon œil.



## Querelles intestines

Le Verrier (1811-1877) fut, et est encore, un des grands noms de l'astronomie française. C'était un virtuose de la mécanique céleste et on sait que, se basant sur les perturbations de l'orbite de la planète Uranus (découverte en 1781) il prédit l'existence d'une planète transuraniennne inconnue dont il fixa par d'immenses calculs la position probable, où on la découvrit (Neptune - 1846).

Il établit également les théories numériques des mouvements du soleil et des principales planètes du système solaire (Connaissance des Temps).

C'était un caractère difficile, personnel et intransigeant, de plus fort habile et bien placé au point de vue politique, qui comme le dit Darboux (38) "relevait volontiers ce que les autres laissaient tomber".

Les autres, c'était le Bureau des Longitudes. On sait que le décret initial de création avait placé l'Observatoire de Paris sous sa coupe.

Dès sa prise de direction, Le Verrier se débarrassa de cette tutelle en faisant prendre en 1854 un décret qui l'en affranchissait, en même temps qu'il s'efforçait patiemment de rentre intenable à l'Observatoire la vie du Bureau des Longitudes qui y était installé.

Le tout était attisé par des rivalités de personnes qui telles que Delaunay — autre très grand nom de la mécanique céleste — ne se laissaient pas faire sans protester.

Un nouveau décret pris en 1862 maintenait la séparation, mais donnait au Bureau des Longitudes toute possibilité de donner des avis sur les questions scientifiques relatives à la géophysique, la géodésie, l'astronomie (39). Il commença par la géodésie, nomma une commission (Delaunay, Faye, Laugier) chargée de lui en faire rapport, qui fut adopté fin 1862.

Ce rapport proposait le programme suivant (39) :

- 1° étudier l'influence des attractions locales sur la verticale. Les calculer,
- 2° vérifier les parties douteuses de la méridienne de France,
- 3° reprendre des déterminations de longitudes astronomiques et de pesanteur sur le parallèle de Paris et le parallèle moyen,
- 4° comparer les étalons géodésiques des différents pays,
- 5° "établir un concert permanent entre le Dépôt de la Guerre et le Bureau des Longitudes",
- 6° consacrer un établissement spécial aux études de la géodésie.

Ce programme faisait pièce aux entreprises de Le Verrier, sur lequel le Bureau des Longitudes cherchait visiblement une revanche : l'occasion lui en fut fournie par une initiative de l'étranger, dont il convient de dire quelques mots.

Elève et disciple de Bessel, le Général prussien Jakob Baeyer avait commandé le Service Géodésique prussien et prenait sa retraite en 1857. Quatre ans après il expose dans une proposition à son

Ministère de la Guerre, un projet de coopération internationale dans le domaine de la géodésie, soulignant les progrès scientifiques qui résulteraient d'une mise en concurrence des données géodésiques européennes, de l'unification des méthodes d'observation et de calcul, d'une collaboration dans les recherches.

Le projet faisait son chemin et par voie diplomatique, un protocole était adressé à toutes les nations européennes. Dès 1862, le Danemark, la Saxe, le pays de Bade, la Bavière, le Mecklembourg, le Hanovre, la Suisse, la Russie, l'Autriche, la Suède, la Norvège, la Belgique, les Pays-Bas, l'Italie faisaient connaître leur intention de participer à cette organisation.

Ce fut initialement "l'Europäische Gradmessung", ancêtre de l'Association Géodésique internationale - voir plus loin.

Le protocole fut transmis à l'Académie des Sciences, et il fit l'objet d'un rapport confié à Faye (CRADS - 1863) ; en même temps, le Ministre de l'Instruction Publique l'envoyait pour examen et avis à Le Verrier.

Faye fit un rapport général très favorable, Le Verrier fit, de son côté, valoir ses longitudes et promit le concours de l'Observatoire...

Il fut sèchement repris par Faye et Delaunay qui expliquèrent que l'Observatoire sortait de ses attributions et que c'était au Bureau des Longitudes qu'il appartenait d'établir les plans de travaux de géodésie scientifique, en accord avec le Dépôt de la Guerre "chargé de la géodésie, comme le disait M. Le Verrier avec lequel le Dépôt de la Guerre avait depuis 1857 renoncé à toute collaboration" (ce qui était vraisemblable).

Toutes ces disputes qui sont rapportées dans les comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences de l'année 1863 et qui rappellent étrangement les interminables polémiques de Bouguer et La Condamine, s'apaisèrent assez rapidement, chacun restant sur ses positions, mais en définitive elles furent très salutaires à la géodésie française.

— Elles avaient attiré l'attention des hautes autorités sur la nécessité de moderniser le réseau géodésique des Ingénieurs Géographes, en particulier, le Président du Bureau des Longitudes de 1860 à 1870, le Maréchal Vaillant, était alors Ministre de la Guerre et pouvait par conséquent faire parvenir directement des ordres au Dépôt de la Guerre.

— Le programme du Bureau des Longitudes traçait des lignes à suivre.

— Les excellents travaux de Le Verrier et Villarcieu avaient relevé les insuffisances de la méridienne de Delambre et montré la voie pour la détermination des contrôles astronomiques du réseau géodésique.

Pendant toute la crise, le Dépôt de la Guerre s'était tenu soigneusement à l'écart, occupé par la finition de la carte au 1/80 000 et par des travaux géodésiques dont nous allons maintenant parler, mais la leçon avait été comprise et retenue en haut lieu, ce qui explique les ménagements et la concer-



tation scientifique auxquels s'astreignit F. Perrier pour concevoir, faire connaître et approuver ses projets géodésiques, ainsi que les extraordinaires facilités qui lui furent octroyées pour les poursuivre pour le plus grand bien de la géodésie française.

Le lecteur nous pardonnera donc d'avoir évoqué ces discordes assez en détail, elles rappellent d'ailleurs que les savants sont aussi des hommes.

### **Le rattachement franco-anglais (1861)**

La jonction observée en 1787, qui avait servi de test d'épreuve pour les cercles de Borda, fut reprise en 1825 sur la demande des géodésiens anglais. Elle avait été très soigneusement préparée de part et d'autre et fut observée du côté français par Arago et Mathieu. Les résultats des observations furent remis aux officiers anglais, malheureusement, leur chef (Capitaine Ketter) auquel ils avaient été confiés, mourut peu après et l'on ne put jamais retrouver les registres d'observation.

Le Gouvernement anglais présenta en 1860 une nouvelle proposition au Dépôt de la Guerre. Elle tombait bien mal à propos. On vient de voir qu'à cette époque on n'y formait plus de géodésiens. Le Colonel Levret, Chef de la Géodésie, de la topographie, dessin, gravure de 1854 à 1862, fut chargé de la direction des opérations du côté français ; il était pratiquement le seul survivant en activité des observateurs de 1818-1845 et avait surtout opéré en Algérie.

D'autre part le matériel d'observation était en mauvais état ; le détachement français disposait de 3 cercles répéteurs à bout de souffle et de 2 théodolites.

Les opérations s'achevèrent tant bien que mal du côté des français, qui avaient pu comparer avec envie les moyens de leurs collègues anglais aux leurs.

Les opérateurs étaient les Capitaines Beaux et François Perrier, qui faisait à cette occasion ses premiers pas dans la géodésie. Il décrira plus tard ses impressions en ces termes. "La comparaison fut éclatante... j'en fus si profondément frappé que je résolus dès lors de consacrer ma vie à la régénération du service géodésique de l'Armée, si tristement tombé en défaillance..."

François Perrier : il est parfois mal venu ou trop facile d'attribuer à un seul personnage le mérite d'opérations collectives qu'il a dirigées sans être l'âme ou le cerveau de l'exécution ni avoir participé aux opérations proprement dites. Tel n'est pas le cas : François Perrier (1833-1888) a non seulement participé aux travaux de terrain pendant 20 ans, comme opérateur et comme chef de mission, mais, vigoureuse personnalité, bien soutenu par le Directeur du Dépôt de la Guerre, le Général Blondel dont nous avons vu l'intervention de 1853, il sut à la fois convaincre les autorités politiques et militaires, solliciter et écouter les avis des autorités scientifiques, présenter un projet simple, adéquat, le réaliser et donner aux résultats la publicité nécessaire, former une équipe soudée et assurer sa succession. Il a bien mérité à tous ces titres, de laisser un grand nom dans la géodésie française.

Son œuvre scientifique est décrite et consignée avec un soin méticuleux dans (30, 12, 13, 14). Elle est toute d'application et sera poursuivie par ses disciples, Bassot, Penel, Desforges, Bourgeois, Georges Perrier son fils (1872-1946) et leurs collaborateurs ; son influence se ressentait encore dans les méthodes d'observations du Service Géographique de l'Armée en 1937 et de l'Institut Géographique National.

## **Travaux de triangulation**

### **Triangulation de la Corse**

En 1862 le Dépôt de la Guerre entreprit le levé de la carte au 1/80 000 de la Corse. La reconnaissance montra que la triangulation de Tranchot avait, à l'exception de 6 sommets, entièrement disparu.

Réobservée par Bugnot, Perrier et Proust, elle se compose de 65 triangles de 1<sup>er</sup> ordre, dont les sommets furent soigneusement reliés par nivellement géodésique. L'échelle fut fournie par l'un des côtés de Tranchot dont les extrémités avaient été retrouvées. La liaison géographique avec la France aurait pu être assurée par le rattachement direct observé par Durand en 1827 à partir des sommets de la Haute Provence d'où il avait visé le Cinto et Paglia d'Orba, mais comme ces points n'étaient point signalés alors et que Durand avait visé des silhouettes, on préféra le rattacher au côté Granier-Colombier de la triangulation des I.G. par une chaîne de 109 triangles empruntant la traversée du Golfe de Gênes par les Iles Toscanes, les triangulations de Ligurie et les Alpes Italiennes. A titre de vérification, la discordance entre la longueur du côté commun de la triangulation Tranchot et sa valeur par la transmission Austro-Sarde était de 1,07 m pour 11 918,8 m (6). On s'en contentera pour la carte.

### **Le parallèle Nord-Algérien**

Les travaux géodésiques entrepris depuis 1830 en Algérie étaient des travaux expédiés. C'est vers 1863 que le Dépôt de la Guerre décida de procéder à des opérations régulières et d'observer entre les frontières tunisienne et marocaine, une chaîne parallèle au rivage méditerranéen qui servirait de base de départ pour 3 chaînes méridiennes. Le travail fut confié aux Capitaines Versigny et Perrier.

Cette chaîne s'étend sur une longueur de 900 kilomètres. Elle est appuyée sur les trois bases de Bone, Blida, Oran. Versigny fut chargé de la partie orientale, qu'il observa au cercle répéteur, Perrier de la partie occidentale. C'est à cette occasion qu'il montra les avantages de la méthode de réitération, préconisée par Faye et qu'il avait vu appliquer par les géodésiens anglais lors de la jonction de 1861-1862. Il avait fait construire dans ce but, et "à ses frais" (38) un nouvel instrument de mesures des angles azimutaux : le cercle azimutal, qui sera jusqu'en 1945 l'instrument utilisé pour les mesures primordiales en France.

Les défauts de la méthode de répétition et des cercles répéteurs étaient nettement apparus au cours de la triangulation des IG :



— la répétition n'est pas adaptée à l'observation sur héliotropes ; elle exige que les stations visées soient visibles en permanence, et que la stabilité du pilier soit assurée pendant la durée d'une répétition (environ 20 à 30 minutes) ;

— la multiplicité des axes concentriques emboîtés était une cause de jeux et d'usure rapide des cercles et de détérioration des mesures ;

— Arago avait montré que les mesures zénithales au cercle répétiteur étaient entachées d'erreurs systématiques, fonction de la distance zénithale.

— les angles azimutaux devaient subir des corrections pour être ramenés au plan horizontal... etc...

Le cercle azimutal que Perrier avait fait construire par Brunner à cette occasion, avait un limbe de 32 centimètres de diamètre divisé en décigrades. La lecture angulaire était la moyenne des lectures de 2 microscopes opposés à 200 grades. La lunette de distance focale 54 centimètres avait un objectif de 5,3 cm et un micromètre focal à fils mobiles.

Plus tard, cet appareil fut perfectionné pour les observations de la méridienne de France : le nombre des microscopes du limbe fut porté à 4, opposés à 100 grades, le limbe gradué à 42 centimètres de diamètre. J'ai eu l'occasion de me servir de ces cercles entre 1938 et 1943 : ils étaient stables et sûrs et donnaient de très bons résultats quoique de maniement assez lent (1 couple en 10 minutes environ) ce qui du reste n'est pas forcément un défaut.

### Les grands projets

F. Perrier était revenu d'Algérie, mûrissant des projets importants qui avaient pris corps pendant la mesure du parallèle.

Il avait à l'automne 1869 aperçu de la région d'Oran et rattaché à son réseau les silhouettes de deux sommets principaux de la triangulation espagnole. Le Maroc était à l'époque pratiquement impénétrable, c'est pourquoi la liaison par le détroit de Gibraltar évidemment plus praticable, n'était pas réalisable. Il en conclut que, s'il était réellement possible d'observer les directions angulaires correspondantes, on pouvait disposer d'un arc de méridien de 30° d'amplitude s'étendant des Iles Shetland par la triangulation de Grande-Bretagne la liaison franco-anglaise, la méridienne de France, la triangulation espagnole jusqu'au Sahara, par le parallèle Nord-Algérien et la méridienne de Laghouat alors en projet : "On peut donc espérer que dans peu d'années les bases géodésiques de la Grande-Bretagne, de la France, de l'Espagne, de l'Algérie, rapportées à un étalon unique de longueur, seront reliées entre elles par une chaîne continue de triangles..."

Dans ce but il fallait au préalable :

— réviser la méridienne de France dont les chaînes des IG et les observations de Villarceau avaient révélé les faiblesses ;

— réaliser matériellement la jonction (que ceux qui ont observé des visées de 250 kilomètres lèvent le doigt !) Perrier dans ce but soumettait son projet, pour examen scientifique, au Bureau des Lon-

gitudes, où la Commission de Géodésie (Delaunay, Faye, Laugier) venait de s'adjoindre Villarceau (signe d'apaisement). Le Bureau faisait un rapport très favorable, l'adressait au Ministre de l'Instruction Publique, son ministre de tutelle, en le priant de le transmettre au Ministre de la Guerre pour décision.

Celui-ci, le Maréchal Niel, faisait appeler Perrier, l'écoutait et décidait de passer à exécution. Copie de sa réponse figure dans les procès-verbaux du Bureau des Longitudes (19.05.1869). "En réponse à la dépêche accompagnée d'une notice du B.d.L. que vous m'avez adressée le 16 avril dernier, j'ai l'honneur de vous informer que j'approuve bien volontiers la proposition de faire effectuer par les officiers d'Etat-Major du Dépôt de la Guerre, d'abord la révision des parties reconnues défectueuses de la méridienne géodésique de France et ensuite le prolongement de cette méridienne jusqu'en Algérie. En conséquence, je ferai recommencer dès l'année prochaine par M. le Capitaine Perrier, aidé de plusieurs adjoints, ce travail de révision qui durera trois ans environ selon toute apparence. Quand cette opération sera terminée, c'est-à-dire probablement en 1873, le Dépôt de la Guerre chargera les mêmes officiers du prolongement de la méridienne, en faisant appel alors au concours scientifique gracieusement offert par le Bureau des Longitudes. Agréez... etc...". Signé Niel.

Perrier avait donc — habile politique — obtenu à la fois le feu vert de l'autorité hiérarchique et l'approbation des milieux scientifiques — exploit prodigieux —.

Il remplira son programme avec compétence et persévérance, malgré l'interruption forcée de la guerre franco-allemande de 1870-1871 où il sera pris sous Metz. Il rentrera en juin 1871 (38).

### La nouvelle méridienne de France

Les opérations avaient commencé en 1870 par la reconnaissance de la partie méridionale de la chaîne (côté Canigou-Forceral).

Elles furent bientôt interrompues par la guerre, et reprises presque immédiatement après le retour de captivité de Perrier.

Le trajet est sensiblement celui de Delambre et Méchain, mais la signalisation avait été particulièrement soignée. On évitait les clochers, sources de difficultés de stationnement et de rattachement ; on opérait soit au sol surtout dans la partie méridionale, la plus facile, soit sur signaux en charpente, où l'appareil était stationné sur un échafaudage indépendant de celui qui supportait la plate-forme des observateurs.

Les visées angulaires étaient effectuées soit sur miroir solaire soit, de nuit, sur projecteurs, après une expérimentation soignée, préconisée par Villarceau. Ce n'est pas sans réticence que Perrier s'y essaya : les observations de nuit n'avaient pas la faveur du Dépôt de la Guerre, mais Perrier se rendit compte que pour les mesures azimutales elles sont très bonnes, à condition de disposer de projecteurs dont l'optique soit rigoureusement étudiée et exécutée (projecteurs catadioptriques de Mangin). Ce qui n'a pas toujours été le cas par la suite.



La chaîne a été observée entre 1872 et 1888. Ce long délai, comparé aux 3 ou 4 ans prévus par le Maréchal Niel, est dû en grande partie au fait que les géodésiens, peu nombreux, devaient également opérer en Algérie où la triangulation était poursuivie simultanément. En 1874, on atteignait le parallèle moyen (Bourges), en 1882 on observait le rattachement de la base de Melun, en 1888 la chaîne était terminée (6).

**Observations angulaires :** chaque angle fut mesuré par réitération à raison de 20 couples.

La statistique des erreurs de fermetures angulaires est la suivante :

	- 10"	- 8"	- 6"	- 4"	- 2"	0	2"	4"	6"	8"	10"
Nombre	2	1	9	26	18	23	20	9	3	2	

(secondes centésimales)

L'écart type d'une fermeture de triangle est de  $\pm 3''3$  ce qui par une formule dite de Ferrero correspond à un écart type  $3''3/\sqrt{3}$ , soit  $1''9$  par angle ou  $1''4$  par direction.

On trouve également dans (30, 12-1) la valeur des fermetures des équations aux côtés des figures à détermination surabondante (quadrilatères complets, polygones fermés etc.). On rappelle à ce propos que ces équations expriment la discordance entre deux valeurs d'un même côté de triangulation lorsque deux enchaînements angulaires permettent de le calculer (ex. accord de base, accord d'un côté d'un polygone fermé).

Perrier les exprime en unités de la 6<sup>e</sup> décimale des logarithmes décimaux.

Elles se traduisent toujours en écrivant qu'un certain produit de sinus des angles compensés doit être égal au produit d'un nombre égal de sinus d'angles opposés : par exemple dans le quadrilatère ABCD à point central I (figure 34) où tous les angles ont été observés, la propriété de fermeture des côtés par calcul en chaîne s'exprimerait par l'équation  $P_1^4 (\sin 1) = P_2^4 (\sin 2)$  (P signifiant produit) ce qui se traduit en logarithmes  $S_1^4 (\log \sin 1) - S_2^4 (\log \sin 2) = 0$  (S : somme de). La fermeture est la discordance des deux sommes de log (sin) des angles observés.

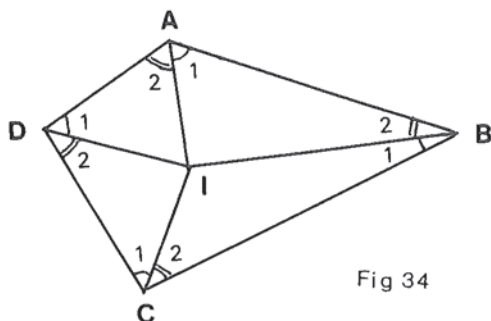


Fig 34

La statistique des valeurs absolues de ces fermetures est la suivante :

	0.	2.	4.	6.	8.	10.
Nb de fermetures	24	17	7	5	2	1

(en unité de la 6<sup>e</sup> décimale des logarithmes)

Elles se rapportent en général à des enchaînements faisant intervenir 6, 8, 10 angles. Si on se rappelle que le logarithme du sinus d'un angle a la variation suivante pour 1 seconde centésimale en unités de la 6<sup>e</sup> décimale :

Angle	30 G	40 G	50 G	60 G	70 G	80 G	90 G	100 G
D (1'')	1.34	0.94	0.68	0.50	0.35	0.22	0.11	0.0

On peut en déduire, en considérant que l'enchaînement moyen est de 8 angles (carré à point central), que l'écart type de fermeture est de l'ordre de 4 ; d'où l'on tire un ordre de grandeur de l'écart type d'un angle :

$4 = e \times D \sqrt{8}$ ... pour  $D = 0.7$  on trouve  $e = \pm 2''$  ce qui est bien du même ordre de grandeur que ce que donnait la formule de Ferrero. Pour un enchaînement de 8 angles de 60 grades, on aurait  $2''8$ .

Tout ceci prouve au moins la parfaite rectitude des opérations : l'épreuve des équations aux côtés, opposée à celle des fermetures des triangles est un critère sévère qui décide tout de suite si la fermeture des triangles a été un peu "aidée".

On peut comparer les valeurs des angles communs, sur des sommets identifiés, à celles des devanciers ; nous donnons ci-dessous un certain nombre d'exemples, tous pris dans la partie sud de la méridienne.

Stations	Perrier	Corabeuf	Mechain	Angle
Espira	107.3725,6 64.1717,4	107.3722,3 64.1733,3	64.1725,3	Tauch-Forceral Vernet-Salces
Forceral	61.7537,5 46.1063,7 61.2796,5 88.0524,1	61.7537,6 46.1060,6 61.2789,3 88.0517,4		T.Sud-Espira Tauch-Espira Tauch-Bugarach Bugarach-Canigou
Canigou	55.7080,4	55.7080,2		Forceral-Bugarach
Tauch	241.6911,0 92.1129,7 46.5216,3	92.1134,2 46.5213,5	241.6908,9	Alaric-Espira Bugarach-Forceral Forceral-Espira
Alaric	38.7191,7 183.9491,0		38.7169,6 183.9492,8	St-Pons-Noré Noré-Tauch
Noré	104.2049,8		104.2044,7	Alaric-St-Pons
St-Pons	57.0766,1		57.0779,2	Noré-Alaric

## Mesure des bases

La méridienne est appuyée sur trois bases : la base de Cassel, au Nord, la base de Juvisy près de Paris, la base de Perpignan, au Sud.

Le projet initial de Perrier était d'utiliser les deux bases de la méridienne de Delambre, de Melun et de Perpignan, mais la mesure des bases avait fait des progrès depuis Borda ; les dispositifs étrangers avaient été étudiés et Hossard, ancien ingénieur géographe, compagnon et adjoint de Peytier sur le parallèle des Pyrénées — s'intéressait, dès 1850, à des matériels nouveaux conçus par Porro (6) (30, 10) dont voici le principe :



l'étalon était une règle bimétallique, d'une longueur de 3 mètres, contenue dans un caisson ouvert très rigide. Elle était graduée à ses deux extrémités et on la disposait, par transport horizontal de son caisson sous une succession de microscopes micrométriques portés par des trépieds indépendants disposés à environ 3 mètres les uns des autres, alignés selon la base, soigneusement nivelés : dans ces conditions, ce sont les zéros des microscopes micrométriques qui servaient de témoin de distance, on lisait leurs appoints et on transportait la règle sous la paire de microscopes suivants, un ou deux trépieds arrière étant laissés en place en cas de fausse manœuvre, puis reportés vers l'avant pour devenir trépied n° 4 quand on était sûr du segment 2 - 3 etc..., le tout était abrité par une baraque mobile.

Brunner réalisa l'appareil, qui effectivement servit aux mesures des trois bases. Les opérations n'étaient guère abrégées par rapport à celles de Delambre, on peut facilement en imaginer le déroulement fastidieux : une équipe entraînée comprenant 40 hommes plus les 4 observateurs, mesurait 30 à 35 portées à l'heure, soit 100 mètres environ. Les résultats de Villejuif et de Perpignan occupent un gros volume (30, 12, 2), plein de chiffres (lectures de microscopes, etc...).

En 1882, on rattacha la base de Melun au réseau de la méridienne, mais on s'aperçut qu'une nouvelle mesure directe de la base était impossible. C'est alors que l'on reconnut sur le parcours déjà illustré par Picard et les Cassini, une nouvelle base de 7 200 mètres environ à laquelle on rattacha la méridienne et la base de Melun, mais dont la mesure ne fut entreprise qu'en 1890. Le résultat fut en accord de 1 centimètre avec la base de Melun.

La fermeture de la chaîne entre la base de Melun et la base de Perpignan était de 0,35 m, ce qui sur un tel enchaînement est très honorable, mais on décida cependant (1891) de remesurer la base de Perpignan. On mit ainsi en évidence une différence de 0,29 m entre la mesure de Delambre et celle de Bassot ; d'autre part les termes de Delambre avaient été retrouvés absolument intacts...

Les chiffres sont les suivants (6) :

Delambre	11.706,40	mesure directe
Bassot	11.706,69	mesure directe
Calcul	11.706,74	enchaînement

On ne saura probablement jamais d'où provient l'erreur trouvée sur la base de Delambre ; un calcul, antérieur à la reprise de la base de Perpignan, s'appuyant sur la base espagnole de Vich (Catalogne) et remontant la méridienne assurait un excellent raccord avec les côtés belges et anglais malheureusement Bassot (40) omet de citer au passage l'accord de la base de Vich avec celle de Perpignan et de Melun : il me paraît très vraisemblable que c'est précisément le désaccord de la base de Vich et de la mesure de Delambre qui provoqua la décision de remesurer la base de Perpignan, alors que l'accord des bases de Melun et de Juvisy semblait garantir la rigueur du matériel de Borda.

Quant à la base de Cassel mesurée en 1892 elle était destinée à assurer l'échelle dans la région du raccord avec les triangulations anglaise et belge.

### Observations astronomiques

En 1883 fut arrêté le réseau de triangulation destiné à fixer, par voie astronomique, des coordonnées à la croix du Panthéon, comme l'avaient fait Delambre et Méchain, le zéro des longitudes étant le pilier origine de l'observatoire de Paris, qu'il convenait donc de rattacher aussi. On choisit dans ce but les stations de Rosny, Fort-de-Chatillon, Mont Valérien, Morlu qui furent stationnées au cercle méridien (figure 35).

Rattachement du PANTHEON et de la BASE de PARIS  
à la MERIDIENNE de FRANCE

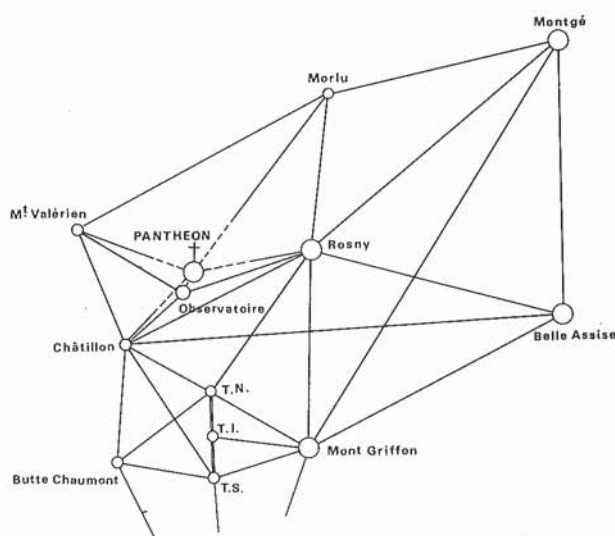


Fig. 35

Ultérieurement lorsqu'on eut fait choix d'un ellipsoïde (Clarke 1880) et fixé un azimut fondamental, on put calculer les coordonnées correspondantes en y ajoutant quelques stations supplémentaires, ce qui donne :

Station	Lat. Panthéon
Bry/Marne	48°50'46''40
Morlu	48°50'46''75
Châtillon	48°50'45''63
Mont Valérien	48°50'47''58
Montsouris	48°50'46''49
Observatoire	48°50'46''39

à comparer avec la valeur retenue par Delambre et Méchain (48°50'49''37). D'autres stations astronomiques furent également déterminées sur la chaîne notamment à Rosendaël (Dunkerque), Rivesaltes (Pyrénées-Orientales), Lihons (dans la Somme), Chevry (près de Montargis), Arpheuille (près de Montluçon) ce qui compléta par les stations de Villarceau (1861-1865) à St-Martin-du-



Tertre, à Bourges, Rodez, Carcassonne, La Bastide du Haut-Mont jalonnait la méridienne et devait permettre d'étudier les variations du degré en fonction de la latitude.

Toutes furent observées par application des méthodes mises au point par Villarceau de 1855 à 1864.

### Méthodes de Villarceau

Le nom d'Yvon Villarceau était associé pour les élèves de spéciales de l'entre deux guerres à celui d'un théorème de géométrie de description du tore. Villarceau fut, en fait, un très remarquable astronome du XIX<sup>e</sup> siècle, qui mit au point les méthodes et les instruments d'observation d'astronomie géodésique par observations du cercle méridien.

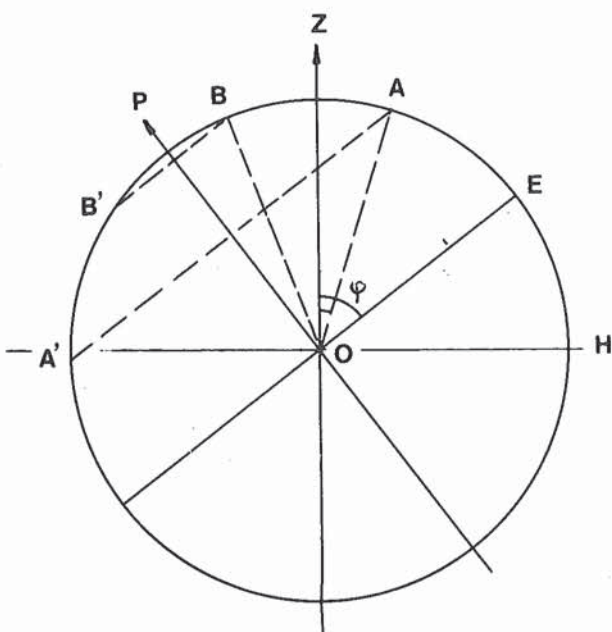
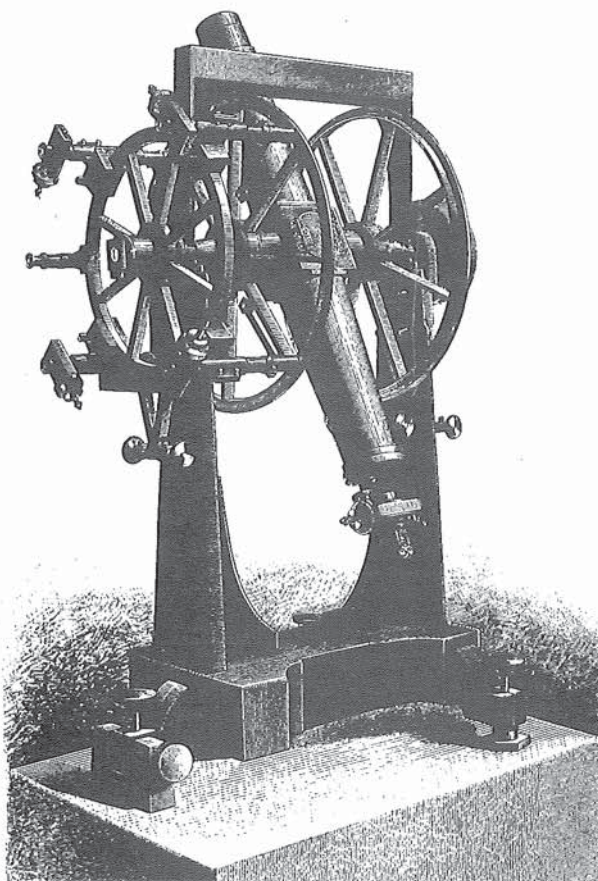


Fig. 36

1° On sait que la détermination de latitude dans le méridien revient à mesurer la distance zénithale d'étoiles connues par leurs coordonnées équatoriales : soit OP la direction du pôle OE la trace de l'équateur sur le méridien du lieu, OZ la verticale (fil à plomb). La latitude est égale à l'arc ZE. Au passage méridien, l'étoile (A ou B) a pour distance zénithale ZA (ZB) et la déclinaison est AE. On a donc :  $ZE = AE + ZA = BE - ZB$ .

ZA, ZB sont mesurés au cercle méridien. Les déclinaisons AE, BE sont connues par les catalogues d'étoiles d'où la latitude  $\varphi = \delta \pm z$ .

Ceci est l'opération algébrique. L'opération astronomique proprement dite est très délicate, il faut corriger les distances zénithales de la réfraction atmosphérique, de la flexion de lunette, surveiller la fixité par rapport à la verticale de la graduation du cercle vertical soit par calage d'un niveau très sensible, soit par observation du nadir par réflexion sur bain de mercure (autocollimation), mesurer soigneusement l'inclinaison des tourillons de la lunette, etc... La méthode de Villarceau consiste



CERCLE MERIDIEN PORTATIF DE BRUNNER  
Grand modèle

Fig 37

à éliminer par symétrie l'influence de la réfraction et de la flexion qui sont toutes deux des fonctions symétriques de la verticale, en observant au cours d'une même soirée des étoiles passant très sensiblement à égale distance zénithale de part et d'autre de la verticale : on connaît toujours une valeur approximative de la latitude, issue d'une mesure expédiée, on peut donc dans un bon catalogue sélectionner des paires Nord-Sud, telles que  $Z_A \# \varphi_0 - \delta_A \# Z_B \# \delta_B - \varphi_0$  pour lesquelles, réfraction et flexion étant identiques seront éliminées du résultat :

$$2\varphi = [(Z_A + \delta_A) + (\delta_B - Z_B)]$$

Les étoiles d'une paire ne sont pas nécessairement consécutives à l'observation, ni rigoureusement symétrique, il y aura donc correction différentielle de réfraction.

2° Pour déterminer la longitude astronomique, Villarceau disposait à la station d'une horloge astronomique réglée en temps sidéral et il enregistrerait la lecture de cette horloge lors de la réception des signaux horaires télégraphiques du méridien origine. Il connaissait donc à chaque instant, par interpolation, l'heure sidérale du méridien origine, HSo.

Son instrument étant installé dans le méridien local, il observait le passage méridien d'étoiles connues. Il connaissait donc également l'heure sidérale locale HS puisqu'elle est égale à l'ascension



droite AR de l'étoile qu'il pointait sur son horloge. La différence des longitudes (M-Mo) est égale à HS - HSo.

Un certain nombre de corrections instrumentales doivent être apportées à la mesure de l'instant de passage de l'étoile au fil central de la lunette, elles dépendent :

- de la collimation de la lunette et de l'aberration diurne ;
- du petit azimuth DZ du plan vertical que décrit réellement la lunette qui n'est pas rigoureusement installée dans le méridien ;
- de l'inclinaison de l'axe des tourillons de la lunette.

Collimation et inclinaison de l'axe des tourillons sont mesurables. L'aberration diurne est bien connue ; l'azimut DZ est une des inconnues du problème : son influence sur le temps de passage est essentiellement (sous les latitudes inférieures à 60°) fonction de la déclinaison D de l'étoile observée, elle est maxima pour les étoiles voisines du pôle.

Il reste finalement pour chaque observation d'étoile une relation du type :  
 $(M-Mo) + f(D), DZ + W = 0...$   
W terme numérique connu.

On traite l'ensemble par une méthode de calcul (moindres carrés par exemple) qui donne (M-Mo) différence de longitude et DZ azimuth du plan vertical du fil central de la lunette méridienne. Ramenant alors la lunette en position horizontale, on en déduit l'azimut astronomique d'une mire lointaine placée à dessein dans le champ de la lunette au voisinage du méridien ; on mesure au micromètre à fil mobile le petit angle entre le plan du fil central et la direction de la mire. Celle-ci sera prise dans le tour d'horizon géodésique qui est ainsi orienté par rapport au méridien astronomique.

Toutes ces mesures sont d'une extrême minutie ; on en trouvera une description très détaillée dans (43). F. Perrier et ses collaborateurs les ont utilisées pour tous les travaux astro-géodésiques de l'époque et elles furent appliquées pendant 70 ou 80 ans par les géodésiens français.

C'est par cette méthode que Villarceau détermina l'azimut fondamental de la nouvelle triangulation à la station de Saint-Martin-du-Tertre, sur la croix du Panthéon qui tombait dans le champ de la lunette méridienne, à quelques minutes du fil central (cf CRADS en date du 5 novembre 1866).

**Equation de Laplace-Villarceau :** en une station géodésique, l'azimut géodésique d'une direction quelconque est l'angle que fait cette direction avec le méridien de l'ellipsoïde de référence. Il se calcule de proche en proche par les formulaires appropriés, mais il ne résulte pas d'une observation directe. Si en cette même station on détermine les coordonnées astronomiques, par exemple par les méthodes de Villarceau on peut associer les résultats géodésiques et astronomiques, calculer les différences :

$$\xi = L_A - L_G$$

$$\eta = (M_A - M_G) \cos L$$

et comparer les azimuts astronomiques et géodésiques d'un même signal,  $Z_A$  et  $Z_G$ . Laplace a montré qu'il existe une équation reliant  $M_A - M_G$  et  $Z_A - Z_G$ .

Soit en effet H le plan horizontal de la station S, P la direction du pôle  $V_G$  et  $V_A$  les verticales géodésiques et astronomiques (fig. 38).

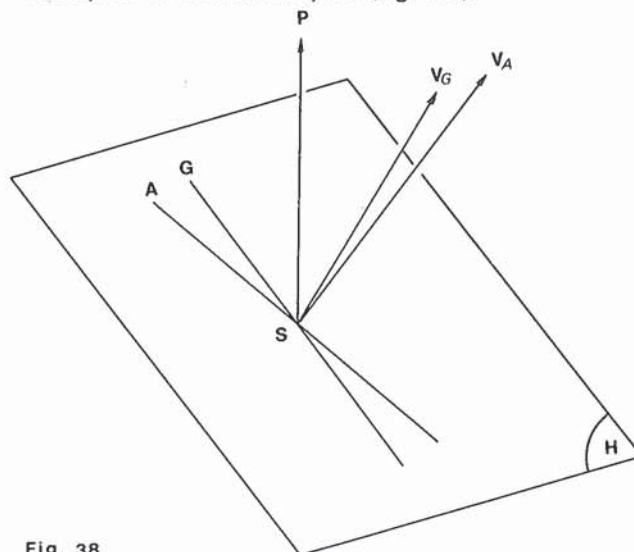


Fig. 38

Par définition, le méridien géodésique est déterminé par les deux droites SP,  $SV_G$  ; le méridien astronomique par SP,  $SV_A$ . L'intersection de ces plans est la droite SP, ils font entre eux l'angle  $(M_A - M_G)$  et coupent le plan H suivant les directions SG et SA, directions respectives des méridiens géodésique et astronomique. L'angle ASG, égal comme on le voit facilement à  $(M_A - M_G) \sin L$ ,

est donc la quantité dont, quelle que soit la cause des différences des longitudes (référence inadaptee, déviation locale de la verticale) doivent différer les azimuts astronomique et géodésique, pourvu que les mesures soient référées au même pôle au point fondamental comme à la station S. A cette réserve près c'est une condition impérative.

Villarceau au cours de ses vérifications de la triangulation des IG, autour des années 1864, observa un certain nombre de stations astronomiques, rattachées à la géodésie. En voici un tableau comparatif partiel :

Station	$L_A - L_G$	$M_A - M_G$	$Z_A - Z_G$
Brest	+ 0''1	- 5''1	- 7''5
Biarritz		+ 4''8	
Nantes		- 5''5	
Marennes		- 4''1	
Le Havre		- 5''4	
Dunkerque	- 2''7	+ 5''2	
Paris	- 1''3	0''0	+ 1''8
Saint-Martin	- 2''3		
Bourges		+ 6''0	
Soligny	+ 1''6		- 15''2
Rodez	+ 1''6	+ 8''4	- 21''6
Carcassonne	+ 1''3	- 5''0	- 35''2
Lyon	+ 2''7	- 1''6	
Strasbourg	- 0''7	+ 8''1	- 1''7

En France, le sinus de la latitude est grosso modo de l'ordre de 0.75. Considérant les différences de



longitude, et tenant compte d'une erreur de l'ordre de 1'' sur les azimuts et sur les longitudes, soit  $\pm 1''5$ , on constate que certains écarts  $Z_A - Z_G$  sont incompatibles avec l'équation de Laplace : c'est donc à la transmission des angles depuis l'azimut fondamental qu'il faut les attribuer ; cette équation, contrairement à ce qu'en pensait Laplace lui-même, est donc impropre à déterminer la déviation verticale en longitude, mais par contre, tout à fait indiquée pour réorienter les réseaux par corrections angulaires, si l'on dispose de bonnes longitudes astronomiques, et c'est un des mérites de Villarcieu de l'avoir signalé.

La méridienne de France de Perrier-Bassot est l'épine dorsale de la nouvelle triangulation du pays ; la partie Nord fut entièrement réobservée après les destructions de la guerre de 1914-1918 ; des calculs d'ensemble furent repris selon des méthodes de compensation plus correctes, mais rien d'essentiel n'y fut changé. L'expérience des années ultérieures a montré qu'on ne faisait pas mieux au point de vue triangulation primordiale et jusqu'à ce jour, en attendant que les nouvelles méthodes spatiales dont l'exploitation paraît très proche, permettent de faire mieux, c'est encore sur elle et sur les travaux dont elle fut le modèle qu'est basé le canevas trigonométrique français.

#### La liaison hispano-algérienne

Ce fut une opération à grand spectacle. La triangulation espagnole était alors activement poussée (Général Ibanez) et atteignait la région visée par Perrier en 1868. Après contacts diplomatiques (1878) la reconnaissance était activement poussée des deux côtés, et montra que des moyens matériels très inusités seraient nécessaires, que seuls des projecteurs éclairés à l'arc électrique (la lampe à incandescence n'existait pas encore) avaient des chances de matérialiser les visées et qu'il fallait donc acheminer sur les 4 sommets retenus, les machines de Gramme, actionnées par des machi-

nes à vapeur de quelques chevaux, nécessaires à l'alimentation des arcs.

Ceci posa en particulier à la station espagnole de Mulhacen des problèmes de transport, d'intendance et de campement d'une extrême difficulté, et du côté français des problèmes d'ordre militaire à la frontière marocaine.

La jonction géodésique proprement dite prit les 3 dernières semaines de septembre 1879. Elle fut très mouvementée au Mulhacen (orages, tempêtes) mais elle fut heureusement terminée par un succès complet.

La figure de jonction est un quadrilatère diagonalisé dont les 4 sommets sont (fig. 36) Tetica (2080 m) et Mulhacen (3481 m) en Espagne, M'Sabiha (585 m), Filhaoussen (1136 m) en Algérie (figure 39).

Les triangles sont évidemment de grandeur inusitée, à la limite des possibilités d'application du théorème de Legendre. Nous donnons ci-dessous leurs excès sphériques et les erreurs de fermeture correspondantes.

Triangles	Exc sphérique	Fermeture
Filhaoussen, Mulhacen, Tetica	167''18	+ 0''81
Tetica, M'Sabiha, Filhaoussen	185''42	+ 2''94
M'Sabiha, Filhaoussen, Mulhacen	218''35	- 2''20

L'équation aux côtés ferme à 2.203 unités de la 9<sup>e</sup> décimale des logarithmes décimaux.

Calculés à partir d'une compensation intrinsèque du quadrilatère et de la valeur espagnole du côté Mulhacen-Tetica, on trouve les valeurs suivantes des côtés :

**Mulhacen-Tetica** : 82.827,20 m  
**Tetica-Filhaoussen** : 257.412,28 m  
**Filhaoussen-Mulhacen** : 269.926,93 m  
**M'Sabiha-Mulhacen** : 269.847,24 m  
**M'Sabiha-Tetica** : 225.712,49 m  
**M'Sabiha-Filhaoussen** : 105.179,35 m  
**M'Sabiha-Filhaoussen** : 105.178,56 m

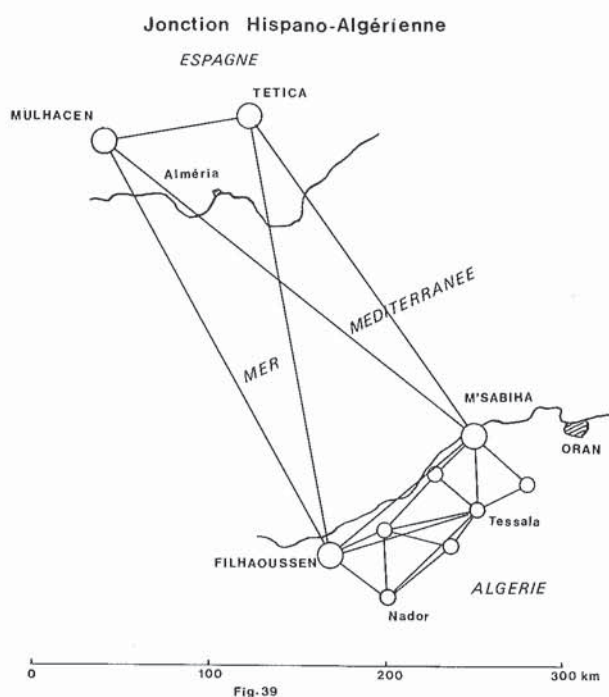
La 2<sup>e</sup> valeur du côté algérien est celle qui résulte du calcul par la chaîne côtière soit une différence de 0,79 m avec la valeur espagnole.

Cette grande opération s'acheva par une détermination de la différence de longitude astronomique entre M'Sabiha et Tetica. Faut de câble sous-marin les observateurs observaient des signaux lumineux rythmés de leurs projecteurs, en tenant compte de leurs équations personnelles aux mesures de temps et aux éclipses lumineuses. Leurs séries sont très correctes et dispersent de 0,10 seconde de temps.

Le vœu de Biot et Arago était accompli.

Cette opération hardie, parfaitement préparée et organisée, favorisée par la chance et couronnée par une réussite complète, valut à ses participants une renommée scientifique universelle, les honneurs académiques et les récompenses officielles.

Ce fut la dernière campagne de F. Perrier sur le terrain où il observait depuis 18 ans.





## 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<sup>e</sup> 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<sup>e</sup> 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. Lallemant - 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.*