

**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =  
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della  
Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 97 (1915)

**Vereinsnachrichten:** La Commission géodésique suisse

**Autor:** Gautier, Raoul

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 08.06.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

### 3. La Commission géodésique suisse.

#### I. Les origines de la Commission, son histoire, ses relations avec l'Association géodésique internationale.

Des travaux géodésiques ont été exécutés sur le territoire de la Suisse au XVIII<sup>e</sup> et dans la première moitié du XIX<sup>e</sup> siècle, mais ce n'est qu'à partir de 1862, lorsque fut fondée l'Association géodésique, devenue depuis internationale, que ces travaux y ont pris un développement normal et complet. Alors fut nommée la Commission géodésique suisse, de l'activité de laquelle nous allons chercher à donner un aperçu, en nous servant de deux notes que nous avons publiées antérieurement en 1893 et en 1914.<sup>1)</sup>

Grâce aux mesures géodésiques dont on disposait au commencement du XIX<sup>e</sup> siècle, plusieurs géomètres, entre lesquels il faut citer Bessel, ont établi que la terre peut être considérée comme un ellipsoïde de révolution, aplati aux deux pôles; et ils ont calculé les dimensions de l'ellipsoïde qui répondent le mieux à l'ensemble de ces mensurations. Leurs recherches ont aussi prouvé que, en différents lieux, la « figure de la terre » diffère sensiblement de cette forme géométrique; et c'est ainsi que s'est posé le nouveau problème de déterminer toutes ces variations locales, afin d'en déduire la connaissance exacte de la vraie surface physique du sphéroïde terrestre, de ce qu'on est convenu d'appeler le *géoïde*.

Mais, pour résoudre ce problème, il ne suffit pas de mesurer quelques lignes géodésiques à la surface de la terre; il faut étudier avec soin et en tous sens des espaces considérables de terrain; et nulle part les conditions n'étaient aussi favorables pour cette étude que dans l'Europe centrale. Il n'y a donc rien de surprenant à ce que le plan élaboré, au printemps de l'année 1861, par le général BAEYER, le distingué géodésien prussien, pour utiliser dans ce but les travaux géodésiques des pays du centre de l'Europe, ait été accueilli avec la plus grande faveur. Ce projet fut soumis, le 7 juillet 1861, par la légation de Prusse à Berne, au haut Conseil fédéral, qui était invité à prendre sa part de la réalisation de ce programme. Le Département fédéral de l'Intérieur, auquel l'étude de cette affaire avait été renvoyée, prit d'abord l'avis du général Dufour, chef du bureau topographique, avis qui fut favorable; puis il la porta à la connaissance de

<sup>1)</sup> *Exposé historique des travaux de la Commission géodésique suisse de 1862 à 1892.* Annexe au Procès-verbal de la 36<sup>e</sup> séance de la Commission (1893).

*Id. de 1893 à 1913.* Annexe au Procès-verbal de la 60<sup>e</sup> séance de la Commission (1914).



la Société helvétique des Sciences naturelles qui s'en occupa dans sa 45<sup>e</sup> session de 1861 à Lausanne. Le projet fut discuté par la section de physique de la Société et vivement appuyé par É. Ritter et par A. Hirsch. Sur leur proposition, la Société décida, en séance générale, le 22 août, non seulement de donner un préavis favorable à l'accession de la Suisse au programme du général Baeyer, mais de constituer une Commission spéciale pour s'occuper de ce travail. Cette Commission, nommée séance tenante, fut composée du professeur R. WOLF de Zurich, président, du général HENRI DUFOUR et d'ÉLIE RITTER de Genève, du professeur A. HIRSCH de Neuchâtel, et de l'ingénieur H. DENZLER de Zurich.

La *Commission géodésique suisse* existe toujours, mais son personnel s'est forcément transformé avec le temps, et aucun des membres fondateurs n'est plus là pour constater le chemin parcouru depuis plus d'un demi-siècle de vie active. Au cours de ces cinquante-quatre années, la Commission a tenu soixante séances. Au début, et du vivant de Hirsch, elle se réunissait de préférence à l'Observatoire de Neuchâtel. Depuis le XX<sup>e</sup> siècle, les séances ont généralement lieu à Berne.

Voici maintenant *la liste des membres de la Commission* depuis l'origine, avec indication de leurs fonctions dans le sein de la Commission. Les noms des membres actuels sont marqués d'un astérisque (\*).

Le général GUILLAUME-HENRI DUFOUR (1787—1875), Genève, président d'honneur, membre de la Commission de 1861 à 1873.

Le professeur RODOLPHE WOLF (1816—1893), directeur de l'Observatoire de Zurich, président de la Commission de 1861 à 1893.

Le professeur ÉLIE RITTER (1801—1862), Genève, membre de 1861 à 1862.

Le professeur Dr. ADOLPHE HIRSCH (1830—1901), directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, secrétaire de 1861 à 1892, président de 1893 à 1901.

L'ingénieur J.-HENRI DENZLER (1814—1876), Zurich, membre de 1861 à 1876.

Le professeur ÉMILE PLANTAMOUR (1815—1882), directeur de l'Observatoire de Genève, membre de 1862 à 1882.

Le colonel HERMANN SIEGFRIED (1819—1879), chef du bureau de l'État-major fédéral et du bureau topographique, Zofingue et Berne, membre de 1873 à 1879.

Le conseiller d'État RODOLPHE ROHR (1831—1888), Berne, membre de 1880 à 1888.

\*Le colonel JULES DUMUR, Berne et Pully près Lausanne, chef et, depuis 1882, ancien chef de l'arme du Génie et du bureau topographique fédéral, membre de 1880 à 1882, membre honoraire de la Commission depuis 1887.

\*Le colonel J.-J. LOCHMANN, Berne et Lausanne, chef et, depuis 1901, ancien chef de l'arme du Génie et du bureau topographique fédéral, trésorier de la Commission de 1883 à 1901, président depuis 1901.

Le colonel ÉMILE GAUTIER (1822—1891), directeur de l'Observatoire de Genève, membre de 1883 à 1891.

Le professeur J.-J. REBSTEIN (1840—1907), Zurich, membre de 1888 à 1907.

- \*Le professeur RAOUL GAUTIER, directeur de l'Observatoire de Genève, membre depuis 1891, secrétaire depuis 1893.
- \*Le professeur ALBERT RIGGENBACH-BURCKHARDT, directeur et, depuis 1914, ancien directeur de l'Astronomisch-Meteorologische Anstalt du Bernoullianum, Bâle, membre depuis 1893.
- \*Le professeur ALFRED WOLFER, directeur de l'Observatoire de Zurich, membre depuis 1901. Le professeur MAX ROSENMUND (1857—1908), Berne et Zurich, membre et trésorier de la Commission de 1901 à 1908.
- \*Le Lt-Colonel LEONZ HELD, directeur du Service topographique fédéral, membre et trésorier de la Commission depuis 1909.
- \*Le professeur FRITZ BAESCHLIN, Zurich, membre depuis 1912.

Une fois la Commission géodésique suisse constituée en 1861, il s'agissait d'organiser son travail. Le président s'entendit avec le général Baeyer pour l'élaboration d'un programme qui fut soumis à la Commission dans sa première séance du 11 avril 1862 à l'Observatoire de Neuchâtel. Ce programme fut adopté, et la Commission prit aussi la décision de principe suivante: „La Commission se prononce, à l'unanimité, pour la convenance qu'il y aurait à ce que la Suisse s'associe à l'entreprise internationale proposée par le général Baeyer, comme étant d'un grand intérêt pour la science“.

Cette décision fut ratifiée par le Département fédéral de l'Intérieur. Ce Département proposa des crédits — lesquels furent bientôt insuffisants — et qui furent votés par les Chambres fédérales le 31 janvier 1863. Enfin, le 18 mars 1863, le Conseil fédéral décidait de communiquer à la légation de Prusse que la Suisse adhéraît officiellement à l'„Association pour la mesure des degrés dans l'Europe centrale“.

Durant toute la période s'étendant de l'année 1864, où cette Association fut définitivement constituée dans la Conférence tenue à Berlin, jusqu'à aujourd'hui, la Suisse n'a cessé de cheminer, par les travaux exécutés sur son territoire, au premier rang des États qui en font partie. Rappelons ici que cette Association étendit, dès 1867, son activité à tous les pays de l'Europe par l'adhésion à son programme de la France et de la Russie, et qu'elle prit le nom d'„Association pour la mesure des degrés en Europe“. Enfin, en 1886, lorsque son champ d'activité s'étendit hors de notre continent, elle se constitua en „Association géodésique internationale“.

Dès l'origine, la Suisse a été représentée au sein de la Commission permanente de l'Association par un des membres de sa Commission géodésique: le Conseil fédéral avait d'abord désigné pour en faire partie, R. WOLF, président de la Commission, mais, sur son refus et sur sa recommandation, ce fut le professeur A. HIRSCH, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel, qui fut appelé à ces fonctions. Hirsch a été longtemps secrétaire de la première Association pour la mesure des degrés en Europe; il a été, de 1886 à 1900, secrétaire perpétuel de l'Association géodésique internationale. A sa

mort il a été remplacé, comme membre pour la Suisse de la Commission permanente de l'Association, par le professeur RAOUL GAUTIER.

Quatre fois, notre pays a vu se réunir chez lui les délégués de l'Association géodésique internationale: en 1866 à Neuchâtel, en 1879 et en 1893 à Genève, enfin en 1896 à Lausanne.

Rappelons enfin que si, lors de la constitution de la Commission, les rapports ont été fréquents entre l'Institut géodésique prussien et les géodésiens suisses, comme nous l'avons déjà constaté, ces bonnes relations ont continué depuis. Et lorsque la direction de l'Institut a passé aux mains du professeur F.-R. HELMERT, la Commission n'a jamais recouru en vain aux conseils et aux bons offices de cet éminent géodésien. L'Institut géodésique prussien de Potsdam, qui fonctionne comme Bureau central de l'Association géodésique internationale, ouvre largement ses portes aux visiteurs étrangers, et nous avons aussi à le remercier pour le bon accueil et l'hospitalité qu'il a accordés à quelques membres et ingénieurs de la Commission géodésique suisse.

Nous allons maintenant passer en revue les travaux exécutés par la Commission géodésique suisse pendant plus d'un demi-siècle. Quelques-uns des problèmes qui se posaient au début aux géodésiens sont toujours à l'ordre du jour; d'autres, après les travaux d'il y a un demi-siècle, ont passé au deuxième plan en Europe; enfin d'autres, nouveaux, sont venus s'ajouter aux anciens. Mentionnons en particulier le problème de la variation des latitudes auquel l'Association géodésique internationale voue une grande partie de son activité; puis les mesures de la pesanteur qui ont beaucoup occupé la Commission depuis une vingtaine d'années. Nous classerons ces travaux sous plusieurs rubriques. Mais auparavant nous devons donner la liste des publications faites par la Commission et dans lesquelles les résultats de ses travaux sont consignés. Remarquons d'abord que, au début, la triangulation étant l'objectif principal, la publication fondamentale a pris le titre de: *Das Schweizerische Dreiecknetz*, ou *Le réseau de triangulation suisse*; ce titre a été commun aux neuf premiers volumes des publications de la Commission qui ont suivi la magistrale introduction historique due à la plume de son dévoué président, RODOLPHE WOLF. Puis la Commission a décidé de le transformer en celui, beaucoup plus exact de: *Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz*, ou *Travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Suisse*. Les autres publications ont été en majorité publiées sous la responsabilité de Plantamour.

A la page suivante, ont trouve, par ordre de matières, le catalogue complet des

## II. Publications de la Commission géodésique suisse de 1864 à 1915.

*Geschichte der Vermessungen in der Schweiz, als historische Einleitung zu den Arbeiten der schweizerischen geodätischen Kommission*, bearbeitet von R. WOLF. Mit einem Titelbilde. Zürich, 1879.

*Das Schweizerische Dreiecknetz*, herausgegeben von der schweizerischen geodätischen Kommission:

- |        |       |                                                                                                                                                |                 |
|--------|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Band   | I.    | <i>Die Winkelmessungen und Stationsausgleichungen.</i>                                                                                         | Zürich, 1881.   |
| "      | II.   | <i>Die Netzausgleichung und die Anschlussnetze der Sternwarten und astronomischen Punkte.</i>                                                  | Zürich, 1885.   |
| Volume | III.  | <i>La mensuration des bases</i> , par A. HIRSCH et J. DUMUR.                                                                                   | Lausanne, 1888. |
| Band   | IV.   | <i>Die Anschlussnetze der Grundlinien.</i>                                                                                                     | Zürich, 1889.   |
| "      | V.    | <i>Astronomische Beobachtungen im Tessiner Basisnetze; auf Gähris und Simplon; definitive Dreiecksseitenlängen; geographische Koordinaten.</i> | Zürich, 1890.   |
| "      | VI.   | <i>Lotabweichungen in der Westschweiz.</i>                                                                                                     | Zürich, 1894.   |
| "      | VII.  | <i>Relative Schwerebestimmungen.</i> I. Teil.                                                                                                  | Zürich, 1897.   |
| "      | VIII. | <i>Lotabweichungen in der mittleren und nördlichen Schweiz.</i>                                                                                | Zürich, 1898.   |
| "      | IX.   | <i>Polhöhen und Azimutmessungen. Das Geöid der Schweiz.</i>                                                                                    | Zürich, 1901.   |

*Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz* (Fortsetzung der Publikation: „*Das schweizerische Dreiecknetz*“).

- |        |       |                                                                                            |               |
|--------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| Band   | X.    | <i>Relative Lotabweichungen gegen Bern und telephonische Uhrvergleichungen am Simplon.</i> | Zürich, 1907. |
| Volume | XI.   | <i>Mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon.</i>                                  | Zürich, 1908. |
| Band   | XII.  | <i>Schwerebestimmungen in den Jahren 1900—1907. Das Nivellements-polygon am Simplon.</i>   | Zürich, 1910. |
| "      | XIII. | <i>Polhöhen- und Schwerebestimmungen bis zum Jahre 1910.</i>                               | Zürich, 1911. |
| "      | XIV.  | <i>Telegraphische Längenbestimmungen.</i>                                                  | Zürich, 1915. |

*Nivellement de précision de la Suisse*, exécuté sous la direction de A. HIRSCH et É. PLANTAMOUR, Genève et Bâle.

- |        |     |                                                                                                        |
|--------|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Volume | I.  | Livraisons I, 1867, II, 1868, III, 1870, IV, 1873, V, 1874, VI, 1877, VII, 1880, VIII, 1883, IX, 1891. |
| "      | II. | Livraison X, 1891.                                                                                     |

*Bericht der Abteilung für Landestopographie an die schweizerische geodätische Kommission über die Arbeiten am Präzisionsnivellement der Schweiz in den Jahren 1893—1903.* Bearbeitet von Dr. J. HILFiker, Zürich, 1905.

*Détermination télégraphique de la différence de longitude entre:*

Les Observatoires de Genève et de Neuchâtel, par É. PLANTAMOUR et A. HIRSCH. Genève et Bâle, 1864, avec quatre planches.

La station astronomique du Rigi-Kulm et les Observatoires de Zurich et de Neuchâtel, par É. PLANTAMOUR, R. WOLF et A. HIRSCH, Genève et Bâle, 1871, avec trois planches.

Des stations suisses: I. entre la station astronomique du Weissenstein et l'Observatoire de Neuchâtel, en 1868; II. entre l'Observatoire de Berne et celui de Neuchâtel, en 1869, par É. PLANTAMOUR et A. HIRSCH. Genève et Bâle, 1872, avec une planche.

La station astronomique du Simplon et les Observatoires de Milan et de Neuchâtel, par É. PLANTAMOUR et A. HIRSCH, Genève et Bâle, 1875.

L'Observatoire de *Zürich* et les stations astronomiques du *Pfänder* et du *Gäbris*, par É. PLANTAMOUR et R. WOLF. Genève et Bâle, 1877.

*Genève et Strasbourg*, exécutée en 1876 par É. PLANTAMOUR et M. LÖW. (Publication faite en commun avec l'Institut géodésique prussien.) Genève et Bâle, 1879.

Les Observatoires de *Genève* et de *Bogenhausen*, près *Munich*, exécutée en 1877, par É. PLANTAMOUR et le colonel VON ORFF. (Publication faite en commun avec la Commission géodésique bavaroise). Genève et Bâle, 1879.

*Observations faites dans les stations astronomiques suisses*: I. *Rigi-Kulm*, II. *Weissenstein*, III. Observatoire de *Berne*, par É. PLANTAMOUR, Genève et Bâle, 1873.

*Expériences faites à Genève avec le pendule à réversion*, par É. PLANTAMOUR. Genève et Bâle, 1866, avec trois planches.

*Nouvelles expériences faites avec le pendule à réversion*, et détermination de la pesanteur à *Genève* et au *Rigi-Kulm*, par É. PLANTAMOUR. Genève et Bâle, 1872.

*Recherches expérimentales sur le mouvement simultané d'un pendule et de ses supports*, par É. PLANTAMOUR, Genève et Bâle, 1878.

Cinquante-trois cahiers de *Procès-verbaux des séances de la Commission géodésique suisse*. Neuchâtel, 1862 à 1914<sup>1)</sup>.

### III. Triangulation et mesure de bases.

Il s'agissait avant tout, pour la Commission géodésique, de se rendre compte si les travaux précédemment exécutés en Suisse pouvaient servir à l'entreprise nouvelle. Ces travaux avaient été inaugurés au commencement de ce siècle par Finsler, poursuivis par Feer, Horner, Trechsel, Pestalozzi et Studer, avec la collaboration des ingénieurs Buchwalder et Eschmann, et avaient repris une activité nouvelle, depuis 1833, sous l'impulsion du général Dufour. Leurs résultats avaient été publiés par J. Eschmann dans un volume intitulé *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*, Zürich, 1840, et ces travaux ont revêtu une forme bien connue dans la belle carte de la Suisse au 1:100 000, carte de l'État-Major, ou carte Dufour.

Le travail de revision fut entrepris par Ritter, qui s'intéressait d'ailleurs particulièrement aux calculs géodésiques. Déjà au mois de janvier 1862, il écrivait à R. Wolf que, d'après son avis, l'ancienne triangulation ne satisfaisait pas aux exigences du but poursuivi par l'Association pour la mesure des degrés en Europe, et il concluait à la nécessité d'entreprendre une nouvelle triangulation. Une maladie, suivie d'une mort prématurée, empêcha que Ritter fût chargé de la direction des calculs géodésiques; mais la Commission adopta ses conclusions et décida qu'il fallait entreprendre le travail à nouveau, spécialement en ce qui concernait le passage des Alpes. Elle chargea de l'étude détaillée du projet l'ingénieur H. DENZLER qui se mit immédiatement à l'œuvre et qui lui présenta, l'année suivante, un plan d'ensemble établi avec le plus grand soin et qui reçut la complète approbation du général Baeyer, auquel il avait été communiqué.

<sup>1)</sup> Les 45 premiers de ces cahiers ont paru en „Annexes“ dans le *Bulletin de la Société neuchâteloise des Sciences naturelles*, de 1862 à 1906.

## a) Triangulation proprement dite.

Ce plan comportait, y compris le passage des Alpes entre la Suisse primitive et le canton du Tessin, un total de quarante triangles, avec vingt-neuf sommets, sur lesquels les angles devaient être mesurés. Ces triangles forment un réseau à trois branches émergeant du centre du plateau et se soudant par leurs extrémités aux réseaux des pays voisins. Le raccordement avec les réseaux piémontais et français s'opérait par le côté *Colombier-Trélod* au sud-ouest, avec les réseaux badois et wurtembergeois par les côtés *Feldberg-Lägern* et *Feldberg-Hohentwiel* au nord, avec l'Autriche par le côté *Gäbris-Pfänder* au nord-est et avec la Lombardie par le côté *Ghiridone-Menone* au sud. On ne conservait de l'ancienne triangulation que la valeur du côté *Chasseral-Röthifluh*, qui servait ainsi en quelque sorte de base provisoire, jusqu'à ce que de nouvelles mesures de bases eussent été entreprises. Le plan de Denzler fut adopté par la Commission dans sa deuxième séance, tenue le 1<sup>er</sup> mars 1863, avec la réserve: „sauf les modifications dont l'exécution du travail démontrera la nécessité“. Denzler fut officiellement chargé du travail de la triangulation; il devait l'exécuter lui-même ou diriger les ingénieurs par lesquels il devrait se faire remplacer.

De fait, le plan primitif avait été si bien combiné qu'il ne fut presque pas modifié; mais son exécution fut beaucoup plus longue et coûteuse qu'on ne l'avait prévu au début. Cela s'explique en partie parce que, sur beaucoup de sommets, les mesures d'angles furent rendues très difficiles par l'altitude et par les circonstances atmosphériques; d'autre part il y eut des erreurs commises, erreurs de fait et aussi erreurs de méthode, par l'emploi de stations excentriques aux sommets des triangles; certaines parties du travail durent être complètement refaites ultérieurement. Les ingénieurs qui ont exécuté ces mesures, sous la direction de Denzler, sont: MM. Kündig, Jacky, l'Hardy, Gelpke, Gysin et Lechner, puis MM. Pfändler, Stambach et Haller. Après la mort de Denzler le travail fut repris par le colonel Siegfried, et c'est sous sa direction que furent entreprises les mensurations supplémentaires, reconnues nécessaires, pour soumettre l'ensemble des mesures d'angles à un calcul de compensation rigoureux.

Les résultats de tous ces travaux ont été publiés par la Commission géodésique suisse dans les deux premiers volumes de ses publications, rédigés, l'un par l'ingénieur KOPPE, qui avait fait les calculs définitifs, et l'autre par SCHEIBLAUER, collaborateur, puis successeur de Koppe, dans les fonctions d'ingénieur en titre de la Commission.

Depuis une trentaine d'années ce travail de triangulation est terminé, et l'on peut ajouter que ses résultats font honneur à ceux qui l'ont mené à terme. L'erreur moyenne d'une mesure d'angle du réseau principal des quarante triangles a été trouvée égale à  $\pm 0",9$ , ce qui constitue un grand progrès sur les mesures de la triangulation antérieure d'Eschmann dont l'erreur correspondante était de  $\pm 3''$  à  $\pm 4''$ .

Récemment, en 1911, le Service topographique fédéral a fait opérer des mesures d'angles dans treize triangles du même réseau au nord-est de notre pays. Pour ces

triangles l'erreur moyenne d'une mesure d'angle est tombée de  $\pm 1'',0$  à  $\pm 0'',6$ . Les progrès réalisés dans les méthodes et dans les instruments expliquent pleinement cette amélioration, mais il n'en reste pas moins que l'ancienne triangulation de Denzler conserve toute sa valeur pour l'ensemble du réseau suisse.

Si nous revenons au chiffre mentionné plus haut,  $\pm 0'',9$ , pour l'erreur moyenne d'une mesure d'angle du réseau complet compensé, cette erreur, reportée sur les longueurs des côtés des triangles, correspond, pour un côté de 40 km, à une incertitude de  $\pm 0,4$  m environ ce qui fait qu'un côté est connu exactement à 1 : 100 000 près de sa longueur. Si l'on recherche enfin l'incertitude des plus longues lignes géodésiques reliant deux stations aussi distantes que possible, en Suisse, du nord au sud ou de l'ouest à l'est, on trouve que ces lignes, mesurant de 200 à 400 km, sont déterminées avec une approximation de  $\pm 1$  m à  $\pm 1,5$  m soit au 1 : 200 000 ou 1 : 300 000 de leur longueur totale. C'est là un résultat satisfaisant, et notre réseau peut servir de base digne de confiance à toutes les entreprises spéciales à exécuter dans notre pays.

Actuellement c'est, comme nous l'avons indiqué tout à l'heure, le Service topographique fédéral qui se charge graduellement de la vérification de toutes les anciennes mesures d'angles comme de l'extension du réseau de triangulation de premier ordre aux autres régions de notre pays. Ici, comme pour d'autres problèmes, la collaboration entre le Service topographique et la Commission géodésique est constante et fructueuse, grâce à la parfaite entente qui n'a cessé de régner entre ces deux institutions.

#### b) Mesure de bases.

Les bases de l'ancien réseau suisse étaient: celle du Sihlfeld près Zurich, base secondaire, et celle d'Aarberg, base fondamentale, mesurée en 1834 par Eschmann avec l'aide de Wild et de Wolf. Le nouveau réseau de triangles comportait trois bases à mesurer, correspondant à la forme générale du réseau: la base d'*Aarberg* à la racine de la branche occidentale, qui peut être considérée comme base centrale, celle de *Weinfelden* à l'extrémité orientale du réseau et celle de *Bellinzona* au bout de sa branche méridionale, qui peuvent être regardées comme bases de contrôle.

Le compte rendu des mesures de bases est consigné dans le troisième volume des publications de la Commission géodésique suisse rédigé par le colonel J. DUMUR et par le professeur A. HIRSCH.

Toutes les mensurations ont été faites avec l'*appareil Ibañez*, construit en 1864 par Brunner frères à Paris. Sur la demande, adressée en mai 1880 par le Conseil fédéral au gouvernement de S. M. le roi d'Espagne, cet appareil fut mis, avec la plus grande obligeance, à la disposition de la Commission géodésique suisse par son inventeur, le général IBAÑEZ, directeur de l'Institut géographique et statistique de Madrid et président de la Commission permanente de l'Association géodésique internationale, lequel poussa la courtoisie jusqu'à venir lui-même faire une double première mesure de la base d'Aar-



berg avec son personnel, en août 1880. Les deux autres bases ont été mesurées en 1881 par un personnel choisi par le colonel Dumur parmi les officiers et sous-officiers du Génie suisse. La direction des travaux appartenait au colonel Dumur et à MM. Hirsch et Plantamour. Les détails circonstanciés sur ces mesures sont fournis par le volume précité. Rappelons seulement ici que l'appareil Ibañez repose sur l'emploi d'une seule règle monométallique que l'on fait marcher sur l'alignement de la base, en déterminant les emplacements successifs de ses extrémités au moyen de repères mobiles armés de microscopes, et bornons notre exposé à quelques chiffres: ce sont les longueurs des bases, leur erreur probable et l'incertitude exprimée en fraction de la longueur. Ces chiffres prouvent une exactitude vraiment remarquable, laquelle est tout à l'honneur de l'appareil employé et des opérateurs qui ont travaillé à cette mensuration.

| <i>Base</i>    | <i>Longueur</i> | <i>Erreur probable</i> | <i>Incetitude</i>       |
|----------------|-----------------|------------------------|-------------------------|
| Aarberg . . .  | 2400,111 m      | $\pm 0,9$ mm           | $\frac{1}{2\,700\,000}$ |
| Weinfelden . . | 2540,335 »      | $\pm 1,3$ »            | $\frac{1}{1\,960\,000}$ |
| Bellinzone . . | 3200,408 »      | $\pm 1,3$ »            | $\frac{1}{2\,460\,000}$ |

D'après ce qui vient d'être dit, ces bases sont mesurées avec une exactitude telle que l'incertitude sur leur longueur, réduite à 3 kilomètres, n'est que de un à deux millimètres. En reportant cette erreur sur le côté du triangle le plus voisin, l'incertitude de la longueur de ce côté, estimée en moyenne à 40 km, est de 20 à 30 mm. On peut sans aucune arrière-pensée ne tenir aucun compte de cette cause d'erreur, beaucoup plus faible que celles qui proviennent de la mesure des angles.

A la mesure de ces bases se rattachent immédiatement les travaux qui ont paru dans les volumes IV et V des publications de la Commission géodésique, en même temps que d'autres études, et qui ont été rédigés, le premier par O. SCHEIBLAUER, et le suivant par le même auteur puis par le Dr. J.-B. MESSERSCHMITT qui lui a succédé dans les fonctions d'ingénieur de la Commission. C'est aussi dans ce dernier volume que se trouvent publiés les résultats définitifs du grand travail de triangulation entrepris par la Commission géodésique suisse.

Dans le problème de la mesure des bases, il s'est passé dans les vingt dernières années un fait nouveau de la plus haute importance: la découverte des propriétés du métal *invar*, alliage d'acier et de nickel, par notre compatriote M. Ch.-Ed. GUILLAUME, et l'application de ce métal à la construction des appareils pour la mesure des bases. Les *règles géodésiques* modernes (généralement de quatre mètres de longueur) se construisent actuellement en invar. Mais en outre, les fils métalliques que, suivant le procédé imaginé par l'ingénieur suédois JÆDERIN, on applique à la mesure rapide des bases



se font aussi en invar, de même que les rubans métalliques employés surtout aux États-Unis d'Amérique. La méthode moderne pour la *mesure rapide des bases au moyen de fils d'invar de 24 mètres de longueur* a été mise au point par MM. Benoît et Guillaume, du Bureau international des Poids et Mesures, et nous avons quelques mots à en dire ici.

En effet, dès 1903 et en vue des travaux qui pourraient se présenter dans ce domaine, la Commission géodésique suisse avait fait l'achat, à Sèvres, d'un lot de fils d'invar de 24 mètres. Puis elle a décidé, en 1905, de compléter cet achat par celui de tous les appareils nécessaires pour une mesure de base. Il s'agissait de profiter de l'achèvement du tunnel du Simplon pour mesurer cette ligne droite souterraine de 20 km environ de longueur.

Les travaux préliminaires à cette mesure ont été l'œuvre de Max Rosenmund. La mesure de la base elle-même du tunnel du Simplon a été exécutée en mars 1906, grâce à l'appui trouvé auprès de la Direction des Chemins de fer fédéraux. La direction de cette entreprise a été confiée à M. Guillaume, et les trois équipes qui travaillaient l'une après l'autre, afin que la mesure fût ininterrompue, étaient commandées par MM. Rosenmund, Gautier et Riggenbach. Il est rendu compte des résultats de cette entreprise dans le volume XI des publications de la Commission, rédigé pour la plus grande partie par MM. GUILLAUME et ROSENMUND.

Cette mesure de base ne devait pas servir à une nouvelle triangulation de notre pays, mais elle présente un intérêt scientifique, comme contrôle de la longueur des lignes géodésiques qui ont servi de fondement à la triangulation du Simplon, faite par Rosenmund en vue du percement du tunnel. C'est, sinon la plus longue base mesurée jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle, au moins l'une des plus longues: on a trouvé 20 145,865 m, longueur réduite à la cote moyenne de 696,74 m, pour la distance entre les deux observatoires de Brigue et d'Iselle, qui avaient servi à la détermination et à la vérification de l'axe du tunnel et qui formaient les deux termes extrêmes de la base. Elle constitue un record de vitesse, puisqu'il fallait que la base fût mesurée, aller et retour, soit près de 40 km, dans les cinq jours pendant lesquels les Chemins de fer fédéraux avaient mis le tunnel à la disposition de la Commission géodésique. Enfin, l'exactitude de la mesure est remarquable, car l'erreur moyenne est à peine supérieure à 1 : 1 000 000, ce qui est très satisfaisant, étant données les conditions dans lesquelles l'opération a été exécutée.

#### IV. Nivellement de précision de la Suisse.

Cette entreprise scientifique doit son origine à la question des altitudes absolues de la Suisse, soulevée vers la fin de l'année 1863 par le colonel Burnier, de Morges, à l'occasion d'une communication de l'ingénieur Michel, de Montpellier, sur le résultat du nivellement français, d'après lequel la cote de la Pierre du Niton à Genève devait être abaissée de 2,59 m. Antérieurement déjà, les nivellements exécutés par les différents

chemins de fer qui convergent à Bâle avaient donné un résultat analogue, soit un abaissement de 2,11 m de la cote fédérale du point zéro de l'échelle du Rhin à Bâle. L'altitude fondamentale du Chasseral, qui a servi de point de départ pour toutes les hauteurs trigonométriques mesurées par l'État-major fédéral, avait été, au reste, par suite d'une méprise d'Eschmann, cotée trop haut de 0,97 m, erreur qui affectait nécessairement toutes les hauteurs suisses.

Le moment était venu de reviser tout le réseau hypsométrique suisse, de faire concorder ses différentes parties entre elles et de le relier d'une manière satisfaisante aux réseaux des pays voisins et par suite aux différentes mers. C'est ainsi que, sur un rapport du professeur Ch. Dufour, de Morges, président de la Commission suisse d'hydro-métrie, le Département fédéral de l'Intérieur renvoya la question à la Commission géodésique, après avoir pris l'avis du général Dufour, de l'ingénieur Denzler et du professeur Mousson.

La Commission géodésique, réunie à l'Observatoire de Neuchâtel le 24 avril 1864, y discuta en détail le rapport que le professeur Hirsch lui présenta sur cette question et en adopta les conclusions qui furent approuvées par le Département fédéral de l'Intérieur et dont voici les plus importantes:

«Le plan général de comparaison pour tous les nivellements suisses sera celui qui passe par la plaque de bronze de la Pierre du Niton à Genève...»

«La Confédération fera exécuter un nivellement de précision entre Genève, Bâle, Lucerne et Romanshorn. Le long de ces lignes de nivellement, on établira des points de repère pareils à celui de la Pierre du Niton; celui de Bâle sera rattaché par nivellement à un repère du réseau français et au nivellement badois; celui du lac de Constance aux réseaux des Etats limitrophes; enfin, à partir de Lucerne, le nivellement sera continué, aussitôt que faire se pourra, jusqu'au canton du Tessin, où il sera rattaché au réseau italien. On comparera partout, le long de la ligne de nivellement, les anciennes hauteurs trigonométriques aux nouvelles cotes du nivellement; enfin, on reliera trigonométriquement et par nivellement le Chasseral à une des stations du réseau suisse, ainsi qu'à une station de frontière faisant partie du réseau français.»

La Commission géodésique chargea en même temps Hirsch, son représentant à l'Association géodésique, de proposer des mesures analogues à la Conférence qui eut lieu à Berlin au mois de septembre 1864, afin d'obtenir, dans toute l'Europe centrale, un vaste réseau de nivellements de précision reliant toutes les mers entre elles. Cette proposition fut agréée; la Conférence de Berlin prit une résolution dans ce sens et décida de choisir ultérieurement, d'après les résultats de l'ensemble des mesures, le plan général de comparaison pour toutes les hauteurs de l'Europe. Peu après, la plupart des pays faisant partie de l'Association géodésique introduisaient les travaux de nivellement dans le programme de leurs opérations. C'est un honneur pour la Suisse d'avoir ainsi provoqué, par son initiative, une entreprise générale de grande valeur scientifique.

L'année suivante, Hirsch soumit à la Commission géodésique, dans sa séance du 18 juin 1865, un rapport détaillé sur le nivellement à entreprendre, sur les appareils, les méthodes d'opération et de calcul et sur le plan de campagne pour l'année 1865. La Commission adopta les conclusions de ce rapport et chargea deux de ses membres, HIRSCH et PLANTAMOUR, de la direction des travaux du nivellement qui commencèrent immédiatement.

Le compte rendu détaillé des mesures, des calculs et de quelques études spéciales se rattachant à un travail de cette nature, se trouve consigné dans l'ouvrage intitulé: *Nivellement de précision de la Suisse*, rédigé par Hirsch et Plantamour. Cet ouvrage a paru par livraisons successives, relatant au fur et à mesure les travaux accomplis: les sept premières, de 1867 à 1880, publiées en collaboration par les deux chefs du nivellement; la huitième, publiée par Hirsch seul, en 1883, tôt après la mort de Plantamour. Les deux dernières ne parurent qu'en 1891, pour deux motifs principaux. Il fallait d'une part terminer les nivellements de contrôle et ceux qui raccordent le nivellement suisse à ceux des pays voisins; il convenait d'autre part d'attendre que le zéro fondamental des altitudes européennes eût été choisi par l'Association géodésique internationale. Comme ce choix ne paraissait pas près d'aboutir en 1890 — et il est plus éloigné que jamais d'aboutir, 25 ans plus tard — Hirsch, d'accord avec la Commission géodésique, a fait paraître la fin du travail l'année suivante en deux livraisons: la neuvième livraison contient la compensation des polygones du nivellement; la dixième renferme le catalogue complet des hauteurs de tous les repères du Nivellement de précision suisse, hauteurs rapportées au zéro des altitudes suisses, soit au repère en bronze de la Pierre du Niton à Genève.

Si l'on prend la moyenne des résultats obtenus par les nivellements de précision des pays voisins pour les repères de la frontière suisse, on peut accepter, d'après Hirsch, pour la cote provisoire de la Pierre du Niton au-dessus du niveau moyen des mers qui baignent l'Europe, la valeur: 373,54 m. D'après un travail plus récent du Dr. J. HILFiker<sup>1)</sup>, cette cote doit être plutôt chiffrée à 373,60 m<sup>2)</sup>, au lieu de 376,86 m.

Rappelons à ce propos que les différences d'altitude que l'on avait trouvées précédemment entre les diverses mers et l'Océan proviennent en grande partie des erreurs des opérations. Les nivellements de précision exécutés dans ces dernières années ne fournissent plus que des différences de niveau très faibles.

Grâce au travail de la Commission géodésique, tout le plateau suisse est sillonné par des lignes de nivellement qui suivent en général les lignes de chemin de fer ou les grandes voies de communication. Puis les importantes voies alpestres ont aussi été nivelées. Les Alpes ont été passées: en Suisse même, au Brünig, au Grimsel, à la Furka,

<sup>1)</sup> *Untersuchung der Höhenverhältnisse der Schweiz im Anschluss an den Meereshorizont*. Verlag der Abteilung für Landestopographie. Bern, 1902. Voir surtout p. 54 et p. 92.

<sup>2)</sup> Il en résulte que toutes les cotes d'altitude des cartes suisses faites jusqu'à maintenant doivent être diminuées de 3,26 m.

à l'Oberalp, au Saint-Gothard et au col de la Fluela; par dessus la frontière, au Simplon, au Splügen et à la Maloja; avec jonction de ces nivellements à ceux des pays voisins.

C'était la première fois que l'on opérait des nivellements en pays aussi accidenté, et ce travail mérite à cet égard une mention toute spéciale. La plupart des lignes ont été nivelées à double; quelques-unes seulement une fois, lorsqu'elles ne présentaient pas trop de difficultés, ou lorsque le polygone de nivellement, dont elles faisaient partie, ne donnait qu'une faible erreur de clôture.

Le *calcul de compensation* auquel a été soumis l'ensemble du travail amène à la conclusion que l'erreur moyenne d'un kilomètre du nivellement n'atteint pas quatre millimètres. Cette erreur est beaucoup plus faible pour l'ensemble des lignes mesurées en terrain relativement plat; elle atteint parfois au double pour les lignes de montagnes, où le travail était souvent rendu très difficile par les circonstances atmosphériques et où la distance entre les stations de l'instrument était forcément très réduite.

Sur tout cet ensemble de lignes, les ingénieurs de la Commission ont placé deux mille deux cent vingt-sept repères, dont plus de deux cent cinquante sont des repères de premier ordre, en bronze, et les autres des repères secondaires, simples croix taillées dans les rochers, sur des bornes, des murs ou d'autres objets dont la stabilité était satisfaisante.

Les *repères de premier ordre* ont une utilité pratique considérable et fournissent à toutes les entreprises de travaux, tant publics que privés, une base de la plus grande importance. Malheureusement, ainsi qu'il résulte d'un rapport présenté à la Commission géodésique par le colonel Lochmann, dans sa séance du 7 mai 1893, une grande partie de ces repères ont disparu par suite de négligence des autorités ou de malveillance du public. Il était urgent de les rétablir et de conserver ceux qui restaient, et c'est à ce travail que le Bureau topographique fédéral a voué une partie de son activité, avec l'appui de la Commission géodésique suisse. Cette Commission ne pouvait plus s'occuper directement d'un travail dont le but n'est pas un but *scientifique*, mais un but *d'utilité publique*, mais elle lui a porté un vif intérêt et elle le lui a témoigné en y contribuant, durant plusieurs années, par une allocation.

Pendant toute cette période, les résultats de ces travaux ont été régulièrement publiés par le Bureau topographique fédéral et, soit le colonel Lochmann, soit Rosenmund, les communiquaient à chaque séance de la Commission géodésique. Puis, la Commission a publié, en 1905, un rapport de M. le Dr. J. HILFIKER, du Service topographique fédéral, sur les travaux relatifs au nivellement de précision, exécutés pour elle de 1893 à 1903.

A partir de 1905, le Service topographique fédéral a entrepris un *nouvel nivellement de précision de la Suisse*, dans des conditions d'appareils et de méthodes plus précis que ce qui avait été fait antérieurement. La Commission géodésique s'y intéresse aussi vivement et elle y collabore en ce sens qu'elle a fait, et fait encore,

exécuter des mesures de la pesanteur en un grand nombre de stations des grandes lignes à niveler, afin que la réduction du nouveau nivellement puisse se faire en employant partout la valeur locale vraie de la pesanteur.

## V. Travaux astronomiques.

Dès le commencement de son activité, la Commission géodésique avait décidé de relier les trois Observatoires de Genève, Neuchâtel et Zurich au réseau de triangulation suisse. Ce travail géodésique a été exécuté par les ingénieurs placés sous les ordres de DENZLER. Mais il fallait aussi déterminer exactement les coordonnées astronomiques de ces Observatoires et celles de quelques autres stations importantes de la triangulation, soit, leur longitude, puis leur latitude et les azimuts de quelques directions fondamentales, afin de déterminer la déviation de la verticale et de se rendre compte de la forme du géoïde. Nous allons passer ces travaux successivement en revue.

### a) Différences de longitude.

Aux trois Observatoires, les mesures ont été faites par les soins des directeurs PLANTAMOUR, HIRSCH et WOLF; pour les autres points, Plantamour se chargea du travail, à la seule condition qu'on lui fournirait une coupole mobile pour les observations, un instrument des hauteurs et des azimuts, qui fut commandé à la maison Ertel à Munich, et un chronomètre de marine acquis à la fabrique Dubois au Locle.

Il suffit de reprendre la liste des publications de la Commission pour voir dans quel ordre les diverses opérations ont été exécutées par Plantamour et ses collaborateurs: onze déterminations de différences de longitude effectuées et publiées de 1864 à 1879, auxquelles il faut ajouter celle de Genève-Vienne faite en 1881 par PLANTAMOUR et von OPPOLZER. La mort de Plantamour a empêché la publication du travail complet, mais les calculs ont été faits par Oppolzer et ÉMILE GAUTIER, et les résultats publiés.

Malheureusement ces déterminations, quels qu'aient été les soins apportés à leur exécution, ne répondaient plus aux exigences de la science au XX<sup>e</sup> siècle. Depuis 30 ou 40 ans les méthodes se sont perfectionnées et simplifiées. On emploie en particulier, pour éliminer les différences d'équation personnelle entre observateurs, des procédés qui étaient inconnus il y a un demi-siècle.

Quelques-unes des différences de longitude entre stations suisses ou entre celles-ci et des stations à l'étranger sont encore utilisables telles quelles, ainsi qu'il résulte des travaux de compensation générale du réseau européen établi par plusieurs auteurs compétents. Mais la plupart présentent des écarts trop considérables pour qu'il n'y eût pas lieu de songer à reprendre cette branche de l'activité de la Commission.

Dans sa séance du 21 février 1903, la Commission a donc envisagé sérieusement la reprise des déterminations de différences de longitude à l'intérieur et à l'extérieur,

en les rattachant aux quatre Observatoires de Bâle, Genève, Neuchâtel et Zurich, à la station du Gurten, près Berne, et à une station dans la Suisse orientale, Coire. Malheureusement cette nouvelle activité n'a pu être inaugurée très vite; il a fallu attendre que les ressources financières de la Commission lui permissent d'engager deux nouveaux ingénieurs comme observateurs et d'acquérir les instruments nécessaires. A cet effet la Commission s'est décidée pour deux instruments des passages de Bamberg, avec micro-mètre impersonnel enregistreur.

Les travaux ont débuté en 1912, ils ont été exécutés par MM. TH. KUBLI, R. TRÜMLER et K.-F. BOTTLINGER. Jusqu'à présent les différences de longitude suivantes ont été déterminées: Zurich-Gurten, Zurich-Bâle, Gurten-Genève, Bâle-Genève, Neuchâtel-Genève et Zurich-Neuchâtel.

La détermination de la différence Zurich-Genève était en cours et à moitié achevée, lorsque, le 1<sup>er</sup> août 1914, la mobilisation générale est intervenue et a arrêté tous les travaux. Quand pourront-ils reprendre? Ce ne sera pas avant 1916 ou 1917, car, pour satisfaire à la demande pressante des Autorités fédérales, la Commission a consenti à une notable diminution de ses crédits pour 1915; et d'ailleurs ses ingénieurs attachés au service des longitudes ont été mobilisés.

#### b) Latitudes et azimuts, déviations de la verticale.

Suivant le plan primitif qu'elle s'était assigné, la Commission a fait déterminer, dans un grand nombre de stations importantes de la Suisse, la latitude astronomique et l'azimut d'une ou de plusieurs directions. Ces mesures ont été poursuivies durant de longues années; leur nombre a cependant dû être passablement réduit récemment, parce que l'ingénieur chargé de ces travaux, M. le Dr. TH. NIETHAMMER, a consacré presque tout son temps aux mesures de la pesanteur.

En résumé, la latitude et l'azimut d'une ou de plusieurs directions ont été déterminés jusqu'ici dans 63 stations astronomiques suisses, comprenant les 15 stations appartenant au réseau principal et 48 autres stations rattachées à celles-ci et réparties sur l'ensemble du territoire de notre pays. On dispose donc d'un nombre important de stations où l'on connaît les coordonnées astronomiques et où, ayant calculé les coordonnées géodésiques de l'ellipsoïde de révolution moyen, qui correspond au méridien du Gothard, on peut déterminer avec précision les *déviations de la verticale*.

Comme on a pu le voir plus haut, les valeurs de ces déviations sont données dans les volumes des publications de la Commission qui portent les Nos. VI, VIII, IX, X et XIII. Le volume VI est plus particulièrement consacré aux déviations de la verticale dans la Suisse occidentale et s'occupe spécialement du méridien de Neuchâtel. Les volumes VIII et IX les étudient plus à l'est, dans la Suisse centrale et septentrionale, puis plus au sud, dans les méridiens de Berne, du Gothard et du Gäbris. Enfin les volumes X et XIII contiennent les déterminations plus récentes de M. le Dr. Niethammer

dans le méridien du Simplon et dans la Suisse orientale, déterminations qui viennent compléter l'étude plus étendue du Dr. MESSERSCHMITT.

Si l'on cherche à résumer l'ensemble des résultats obtenus en Suisse, on peut dire que la direction du fil à plomb est déterminée par les masses visibles: la déviation de la verticale est à peu près perpendiculaire à la direction générale des chaînes de montagnes, Alpes et Jura, et la grandeur de la déviation est proportionnelle à l'importance des masses soulevées, envisagées dans un rayon de 30 à 40 km.

Et si l'on cherche à évaluer en chiffres l'élévation du géoïde au-dessus de l'ellipsoïde et la forme générale que prend ce géoïde, on peut en donner la représentation suivante. Dans la partie orientale du plateau suisse s'étend une plaine où les deux surfaces se confondent en général. Cette plaine s'élève à l'ouest un peu au-dessus de l'ellipsoïde vers les lacs de Neuchâtel et de Genève. Des deux côtés, au nord-ouest et au sud-est, la discordance entre les deux surfaces s'accroît, mais la pente est plus forte vers le sud. Le géoïde s'élève à environ deux mètres dans l'axe du Jura et à quatre ou cinq mètres sous les chaînes principales des Alpes. Cette élévation constitue un dos de 40 à 50 km de largeur, avec le maximum de hauteur au sud-ouest, vers le Mont-Blanc. Si l'on va plus au sud, on retrouve la déviation nulle vers Côme et Milan, au pied méridional des Alpes.

Le géoïde reflète donc bien, dans l'ensemble, la forme extérieure des masses soulevées, mais, dans les Alpes comme ailleurs, à l'Himalaya par exemple, à l'importance des masses montagneuses ne correspond pas une déviation de la verticale aussi intense qu'on l'aurait attendue. Et nous verrons plus loin que les mesures de la pesanteur confirment, à un autre point de vue, cette conclusion.

Dans sa 47<sup>e</sup> séance, le 21 février 1903, la Commission a étudié, d'une façon générale, le tableau futur de ses travaux et s'est tracé un programme extensif de déterminations de latitudes et d'azimuts dans un certain nombre d'autres stations astronomiques réparties sur plusieurs méridiens, du Generoso, de la Fluela, de Samnaun-Sent, qui viendraient s'ajouter à ceux de Neuchâtel, Berne, Simplon, Saint-Gothard et Gâbris, déjà nommés. — C'est là, en grande partie, l'œuvre de l'avenir.

## VI. Mesures de la pesanteur.

Sur la demande du général Baeyer, des mesures de l'intensité de la pesanteur avaient été mises au programme des opérations de la Commission géodésique suisse. Celle-ci commanda, dès l'année 1862, un pendule à réversion à la maison Repsold de Hambourg, et PLANTAMOUR se chargea des mesures. Il les commença en 1864 à Genève et les continua l'année suivante. Puis il les reprit en 1871 et en exécuta aussi au Righi-Kulm, à Berne, au Weissenstein, au Simplon, au Gâbris et à Zurich. Enfin, plus tard, frappé de certaines anomalies qui se produisaient dans les oscillations du pendule, il



les attribua à des mouvements concomitants des supports du pendule. Il travailla à nouveau ce sujet expérimentalement, au moyen d'un nouvel appareil que la Commission fit construire par la maison Repsold, tandis que CH. CELLÉRIER, professeur à l'université de Genève, étudiait la même question au point de vue théorique. Les travaux de Plantamour sont consignés dans les trois Mémoires signalés plus haut dans les publications de la Commission.

Ces mesures sont des *mesures absolues*, fournissant, pour chaque station, la longueur du pendule simple et l'intensité de la pesanteur. Mais le pendule à réversion est un instrument délicat; il n'est pas facile à transporter; et son emploi, ainsi que l'ont démontré les expériences de Plantamour, demande les plus grandes précautions. Il n'est donc pas d'un usage pratique pour le but que l'on poursuit maintenant, de déterminer l'intensité de la pesanteur dans un grand nombre de stations afin d'en étudier les variations locales.

Heureusement, le lieutenant-colonel VON STERNECK, l'ancien chef de l'Institut militaire géographique autrichien, a imaginé un nouvel appareil qui fournit des *mesures relatives* de l'intensité de la pesanteur en peu de temps et avec une grande exactitude, au moyen de pendules battant la demi-seconde. Cet appareil est facilement transportable, son installation est facile, et l'on peut obtenir, sans difficulté, par son emploi, des mesures dans des stations rapprochées.

Dès l'année 1892, la Commission a acquis un jeu de quatre de ces pendules. Les mesures ont été faites de 1893 à 1898, par le Dr. MESSERSCHMITT, puis plus activement encore, de 1899 à aujourd'hui, par le Dr. NIETHAMMER. Plus récemment, la Commission a acquis un jeu de quatre pendules nouveaux, en *baros*, alliage de nickel et de chrome, avec un peu de fer et de manganèse, qui remplacent avec avantage, dans les mesures de la pesanteur, plusieurs des anciens pendules en laiton doré.

Suivant la méthode de Sterneck, il suffit de connaître la valeur absolue de la pesanteur en un point d'un pays, pour pouvoir déterminer, par des observations relatives, la pesanteur aux autres stations. Les stations de référence suisses ont été d'abord Zurich, puis Bâle, et ces stations ont été rapportées à celles de Karlsruhe et de Potsdam.

La Commission géodésique dispose actuellement, après les quinze années de mesures exécutées par M. Niethammer, d'un ensemble de plus de cent soixante stations de pendule homogènes. Ces stations sont réparties sur tout le territoire de notre pays et sont plus serrées dans les parties montagneuses du Valais, du Gothard et des Grisons et sur le versant méridional des Alpes, y compris quelques stations sur territoire italien.

Ce que l'on cherche à obtenir c'est la répartition de la pesanteur d'une façon homogène à la surface du pays, et pour cela il faut réduire la valeur de la pesanteur à ce qu'elle serait dans la verticale de chaque station, sur une même surface de niveau, pour laquelle on a choisi celle du niveau moyen des océans. On a ainsi plusieurs corrections successives à apporter à la valeur observée de la pesanteur en chaque lieu. Il faut calculer l'attraction des masses voisines au moyen de cartes aussi détaillées que possible



et en tenant compte de la densité moyenne des roches, ce qui est un travail assez considérable à effectuer pour chaque station; on obtient de cette façon une valeur réduite de la pesanteur que l'on désigne par  $g''_0$ .

Puis, si l'on calcule la valeur théorique moyenne de la pesanteur d'après un grand nombre de mesures réparties sur l'ensemble de la surface de la terre au niveau de la mer et qu'on l'appelle, avec M. Helmert,  $\gamma_0$ ; si l'on établit la différence  $g''_0 - \gamma_0$ , ou l'écart entre la valeur réduite de la pesanteur et sa valeur théorique; enfin si l'on trace sur une carte des lignes qui joignent les points qui ont la même valeur de  $g''_0 - \gamma_0$ , on a ce que Sterneck appelle les *lignes isogammes*, ce qui ne veut pas dire lignes de même  $\gamma_0$ , mais de même  $g''_0 - \gamma_0$ . Lorsque cette différence,  $g''_0 - \gamma_0$ , est positive on dit qu'il y a *excès de masse* (relatif bien entendu) et lorsqu'elle est négative, qu'il y a *défaut de masse* (relatif aussi).

On a longtemps cru que la pesanteur était plus forte sur les continents, à cause des masses soulevées, mais cela n'est pas en réalité; et d'ailleurs, comme on a supprimé par la pensée, dans la valeur de  $g''_0$ , toute la masse continentale qui se trouve entre le niveau des océans et celui de la station, on a une valeur diminuée de la pesanteur. Dans notre pays montagneux, on ne rencontre presque pas de valeur positive pour  $g''_0 - \gamma_0$ .

Ce n'est qu'à Bâle et près de Locarno qu'est apparue jusqu'ici en Suisse l'isogamme zéro. Partout ailleurs, les valeurs de  $g''_0 - \gamma_0$  sont négatives. Et, comme les lignes de même écart entre le géoïde et l'ellipsoïde, les isogammes cheminent à peu près parallèlement aux chaînes de montagne du Jura et des Alpes. L'isogamme de -50 unités de la cinquième décimale de  $g$  va de Morat à Constance. — Celle de -100 coupe le versant boréal des Alpes, suivant une ligne sinueuse qui va de Saint-Maurice à Schwyz, en passant par le centre du lac de Thoune, entre les lacs de Lungern et de Sarnen et au milieu du lac de Lucerne. — Les maxima de  $g''_0 - \gamma_0$ , se trouvent: 1° dans le Val d'Entremont (-139 unités de la 5<sup>e</sup> décimale de  $g$ ); 2° au sud de Viège (-145); 3° dans l'Oberland grison avec maximum actuellement déterminé à Davos (-164); ce maximum s'étend plus à l'est et au sud-est et embrasse une vaste région avec un défaut de masse qui dépasse -150. — L'autre ligne de -100 coupe l'angle méridional du Valais peu au nord du Mont-Rose, puis passe à Biasca, dans le Tessin. — Celle de -50 passe dans le Tessin à Maggia et près de Bellinzzone et, d'une façon générale, toutes les isogammes sont beaucoup plus rapprochées sur le versant méridional que sur le versant boréal des Alpes.

On remarquera que les écarts maxima entre  $g''_0$  et  $\gamma_0$  se trouvent au voisinage des hautes chaînes des Alpes, le Mont-Blanc, les Alpes valaisannes, le Gothard et les Alpes grisonnes. On a fait des constatations analogues au Caucase, à l'Himalaya et ailleurs, où l'on constate aussi des défauts de masse.

Ajoutons encore, pour être complet au sujet des déterminations de la pesanteur en Suisse, que des mesures de pendule ont été exécutées par M. Niethammer, avec la

collaboration de plusieurs autres observateurs, MM. RIGGENBACH, PIDOUX et TRÜMPLE, dans l'intérieur des deux grands tunnels des Alpes récemment percés. Au Simplon, M. NIETHAMMER a observé dans neuf stations de pendule à l'intérieur du souterrain et dans deux au Loetschberg. Ces mesures donnent des résultats comparatifs intéressants sur l'intensité de la pesanteur dans l'intérieur de la terre et à sa surface même, lesquels correspondent bien au relief moyen du massif montagneux situé au-dessus des tunnels.

La Commission géodésique aura encore à faire compléter le réseau des stations de pendule, surtout dans l'est et le sud-est de notre pays, mais les grandes lignes sont maintenant établies et l'on peut tracer les isogammes pour la majeure partie de la Suisse; les résultats obtenus confirment l'existence sous la Suisse, et spécialement sous les hauts massifs des Alpes, d'un *déficit de masse* relatif bien caractérisé.

### Conclusions.

Nous sommes arrivé au terme de l'exposé des travaux de la Commission géodésique suisse durant son existence de plus d'un demi-siècle. Résumons brièvement ce qui a été fait et voyons ensuite ce qui reste à faire.

La *Triangulation* est terminée, et le Service topographique fédéral complètera au fur et à mesure les travaux entrepris en 1862 par la Commission géodésique.

Le *Nivellement de précision* de la Commission a été terminé il y a un quart de siècle. Le nouveau nivellement de précision entrepris par le Service topographique fédéral est en cours régulier d'exécution.

La connaissance des *déviations de la verticale* en Suisse doit être complétée par des mesures de *latitude* et d'*azimut* dans un certain nombre de stations astronomiques situées surtout dans les régions orientales de notre pays.

Les *mesures de la pesanteur* sont très avancées, et il suffira de peu d'années pour pouvoir établir la carte complète des isogammes de la Suisse.

Ce qui reste surtout à exécuter, du programme général des travaux de la Commission géodésique, c'est la continuation et l'achèvement du réseau des déterminations de *différences de longitude*, soit à l'intérieur de la Suisse, soit entre stations suisses et stations de l'étranger.

Mais d'autres problèmes se posent encore à la Commission géodésique:

1° Lorsqu'en 1902, la Commission a transmis son projet de programme de travaux à M. le professeur Helmert, celui-ci lui a recommandé de procéder, quand l'occasion s'en présenterait, à un travail spécial particulièrement intéressant dans un pays aussi accidenté que le nôtre, le *nivellement astronomique* détaillé d'un de nos méridiens. Il s'agirait, sur ce méridien, pour lequel la Commission a choisi celui du Gothard, de rapprocher les stations de latitude à de faibles distances, trois à cinq kilomètres seulement, afin de déterminer dans tous leurs détails les variations des déviations de la verticale en latitude.

Dans ce but, la Commission a fait récemment l'acquisition d'un instrument qui a fait ses preuves en divers pays pour la mesure rapide de la latitude, un astrolabe à prisme de MM. Claude et Driencourt.

2° Tout récemment, la Société helvétique des sciences naturelles a demandé à la Commission géodésique de s'occuper d'un autre problème: *le levé magnétique de la Suisse*.

Ce n'est pas la première fois que la question du levé magnétique de la Suisse est posée devant la Commission. Comme le rappelle un très intéressant rapport présenté par M. RIGGENBACH, à la séance du 14 juin 1913, HIRSCH avait déjà ce levé en vue il y a plus de vingt ans, et la Commission avait précisément chargé M. Riggenbach, en 1894, de préparer un plan général de ce levé, d'accord avec la Commission suisse de météorologie qui avait été également saisie de la question.

Les tractations entre les deux Commissions durèrent quelques années, puis l'affaire fut transmise à l'étude d'une Commission mixte présidée par notre compatriote WILD, l'ancien directeur du grand Observatoire magnétique russe, de Pawlowsk. Malheureusement le président de cette Commission fit des propositions de trop grande envergure, comportant des dépenses qui furent jugées excessives par le Département fédéral de l'Intérieur... et le levé magnétique de la Suisse fut ajourné à des temps meilleurs.

Cela a été très fâcheux; et cependant, comme le disait le procès-verbal de la dernière séance de la Commission mixte, du 11 décembre 1898, et comme le dit le rapport de M. Riggenbach, «le levé magnétique de la Suisse doit être fait». En effet, pour tous les pays qui nous entourent, les travaux sont achevés ou près de l'être, et la Suisse constitue, à ce point de vue, une lacune au centre de l'Europe, lacune qui demande forcément à être comblée.

On doit donc saluer avec intérêt l'initiative prise par notre compatriote M. le Dr. BRÜCKMANN qui a proposé en 1912 à la Société helvétique des sciences naturelles d'entreprendre un levé magnétique de la Suisse, en s'attachant en particulier à déterminer les éléments magnétiques pour des stations situées à des altitudes très différentes, ce qui est facile en Suisse. L'étude de cette question a été, comme nous venons de le dire, transmise à la Commission géodésique. Celle-ci s'est mise en relation avec M. Brückmann. Elle étudiera le problème sous toutes ses faces, et elle s'est réservé de proposer un plan d'exécution pour la prochaine période favorable. Une partie des travaux préliminaires exécutés par la Commission géodésique, la Commission suisse de météorologie et la Commission mixte, de 1894 à 1898, pourront servir à l'avenir, mais il faudra tenir compte aussi de ce qui a été fait ailleurs, autour de nous; et ce nouveau champ d'activité occupera forcément pendant plusieurs années le personnel d'ingénieurs de la Commission.

Le secrétaire de la Commission:

Raoul Gautier.