

COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE



RAPPORT

SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS EN SUISSE
DEPUIS LA DIX-SEPTIÈME ET DERNIÈRE CONFÉRENCE GÉNÉRALE
DE L'ASSOCIATION GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE

A HAMBOURG, EN 1912,

par

Raoul GAUTIER



GENÈVE
IMPRIMERIE ATAR, RUE DE LA DOLE

1922



COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE

RAPPORT

SUR LES TRAVAUX EXÉCUTÉS EN SUISSE DEPUIS LA DIX-SEPTIÈME ET DERNIÈRE CONFÉRENCE GÉNÉRALE DE L'ASSOCIATION GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE A HAMBOURG, EN 1912.

INTRODUCTION.

Les travaux exécutés par la *Commission géodésique suisse* durant cette longue période de dix années se rattachent directement à ceux dont les résultats ont été exposés dans les rapports présentés aux Conférences générales précédentes de l'Association géodésique internationale, et notamment à celui qui est publié dans les Comptes rendus de la 17^e Conférence à Hambourg (Vol. I, p. 417).

Membres de la Commission. — La Commission géodésique suisse a eu le regret d'enregistrer, au début de l'année 1920, la démission de son vénéré président, M. le colonel J.-J. LOCHMANN, qui nous a quittés en raison de son âge avancé. La Commission l'a nommé *président honoraire* en reconnaissance des services qu'il lui a rendus durant ses 37 années d'activité comme trésorier, puis comme président.

Le colonel Lochmann a été remplacé à la présidence par le secrétaire de la Commission, M. Raoul GAUTIER. Le secrétariat a passé aux mains expertes de M. Albert RIGGENBACH, mais, malheureusement, pour moins d'une année seulement, notre collègue ayant été enlevé subitement, le 28 février 1921, à sa famille et à ses nombreux amis.

La Commission a élu à sa place, comme secrétaire, M. Théodore NIETHAMMER, successeur de Riggenbach dans la direction de l'«Astronomisch-meteorologische Anstalt» du Bernoullianum à Bâle. M. Niethammer avait été nommé membre de la Commission lors de la retraite du colonel Lochmann. A Riggenbach a succédé, comme membre de la Commission, M. H. ZELLY, chef de la Section de géodésie au Service topographique fédéral à Berne.

Après sa nomination à la chaire d'astronomie de l'Université de Bâle en 1918, M. Niethammer

a été remplacé, en 1919, comme ingénieur de la Commission, par M. Emile Brunner qui est venu prendre place en cette qualité aux côtés de M. E. Hunziker, nommé ingénieur en 1916.

Les *travaux de la Commission* ont au reste été réglés en partie, depuis le commencement de la guerre, par la possibilité de s'assurer la collaboration d'un personnel scientifique qui ne fût pas constamment mobilisé. Ils ont aussi été réduits en quantité par la question budgétaire, les crédits alloués à la Commission ayant été fortement réduits dès le début des hostilités. De 1912 à 1914, la Commission employait trois ingénieurs; elle n'en a eu qu'un de 1914 à 1916, puis deux jusqu'à maintenant.

Quant à la nature des travaux de la Commission, certains d'entre eux ont été la continuation de ceux poursuivis avant 1912; d'autres ont suivi des directions nouvelles.

Les *mesures de la pesanteur* ont été continuées par M. Niethammer de 1912 à 1918 jusqu'au complet achèvement du plan que s'était proposé la Commission.

En 1912, la Commission avait, depuis de longues années, à son programme, la reprise de déterminations de *différences de longitude* entre stations suisses, puis entre celles-ci et des stations de l'étranger. Ce travail, commencé en 1912, a été interrompu par la guerre en août 1914 et n'a pu recommencer qu'en 1919.

Depuis longtemps, la Commission avait en vue de procéder, suivant le conseil du regretté Helmert, à un *nivellement astronomique* dans le méridien du Gothard. Elle a pu faire exécuter ce travail par M. Hunziker, avant la reprise du précédent, de 1916 à 1918, au moyen d'un astrolabe à prisme du système de MM. Claude et Driencourt.

Le nouveau *nivellement de précision*, entrepris depuis 1905 par le Service topographique fédéral, marche vers son très prochain achèvement.

La *triangulation de 1^{er} ordre* est terminée depuis une trentaine d'années et a été complétée et améliorée dans certaines régions de notre pays par le Service topographique fédéral, en liaison avec l'exécution de la triangulation de 2^e et de 3^e ordre.

Il n'y a pas eu de *mesure de base* effectuée en Suisse depuis celle du tunnel du Simplon en 1906.

Ces divers travaux de la Commission géodésique suisse durant les dix dernières années vont être maintenant passés en revue d'une façon un peu plus détaillée.

I. MESURES DE LA PESANTEUR.

Des mesures de la pesanteur, au moyen de pendules du système de Sterneck, avaient déjà été faites dans quelques stations suisses, à la fin du XIX^e siècle, mais la Commission a décidé de ne publier en détail que celles qui ont été exécutées de 1900 à 1918 par M. Niethammer: elles offrent une beaucoup plus haute précision et ont, en outre, l'avantage inappréciable de présenter un tout parfaitement homogène.

Commencées au moyen des pendules originaux en laiton doré du colonel de Sterneck, ces mesures ont été faites ensuite, partiellement, puis totalement, au moyen de pendules en *baros* qui sont certainement plus stables que les autres. Ceux-ci ont été établis en 1910 par la Société genevoise pour la construction d'instruments de physique sur les plans soumis par le regretté Pierre Chappuis.

Les résultats complets obtenus par M. Niethammer ont été publiés en détail dans les volumes

XII (1910), XIII (1911), XV (1916) et XVI (1921) des « Travaux astronomiques et géodésiques exécutés en Suisse » (« Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz »). Nous y renvoyons les lecteurs de ce rapport. Chaque volume contient une carte fournissant le tracé des courbes d'égale différence $g'' - \gamma_0$ (isogammes) d'après les mesures faites jusqu'au moment de sa publication et réduites d'après la méthode de Bouguer. La carte annexée au volume XVI donne donc le relevé complet de ces courbes pour la Suisse entière et quelques régions limitrophes au nord et au sud. Y figurent 231 stations en tout, auxquelles on doit encore ajouter 9 stations dans l'intérieur du tunnel du Simplon et 2 dans celui du Lötschberg: 242 au total, ce qui représente un réseau extrêmement dense et particulièrement intéressant à cause de la configuration très accidentée du sol de la Suisse.

Cette dernière carte est reproduite dans la *figure 1* de la p. 5.

Toutes ces mesures de la pesanteur ont été effectuées avec l'appui du *Service topographique fédéral* qui avait demandé à la Commission géodésique d'augmenter sensiblement le nombre des stations de pendule en Suisse pour faciliter la réduction du nouveau nivellement de précision dont il sera parlé plus loin.

Depuis la publication du volume XVI, M. Niethammer s'est occupé plus spécialement de la réduction isostatique de ses mesures.

Je lui laisse la parole pour l'exposé de ses résultats les plus récents:

Allgemeines. — Die isostatische Reduktion der Schwerebeschleunigungen geht von der Prattischen Hypothese aus, welche besagt, dass die Kontinental- und Gebirgsmassen oberhalb des Meeresniveaus durch einen Massendefekt unterhalb und die Wassermassen der Ozeane durch einen Massenüberschuss kompensiert seien.

Die Annahme, dass die Massen der Erdrinde ursprünglich eine homogene Schale von konstanter Dichte gebildet haben und dass dann die Erdrinde sich unter gleichmässiger Dichteverminderung ausgedehnt oder unter gleichmässiger Dichtezunahme zusammengezogen habe, führt zur Vorstellung, dass die Dichte des kompensierenden Defektes oder Ueberschusses in *jeder* Vertikalen konstant sei, und gestattet, die Dichte des Defektes oder Ueberschusses ihrem numerischen Betrage nach zu berechnen, wenn die Tiefe der Niveaufläche, über welcher die Massenverteilung sich geändert hat, d. i. die Tiefe der Ausgleichsfläche, bekannt ist.

Diese Vorstellung hat den Vorteil, dass die Resultante aus der Vertikalanziehung der äusseren Massen und der Vertikalanziehung der sie kompensierenden Massen berechnet werden kann. Es unterliegt aber keinem Zweifel, dass diese vereinfachende Annahme nur annähernd der Wirklichkeit entspricht. Der wirklichen Massenverteilung in der Erdrinde kommt die Annahme näher, es sei für die Dichte des Massendefektes oder Ueberschusses nur die durchschnittliche Höhe (oder Tiefe) der festen Erdoberfläche innerhalb eines gewissen Umkreises massgebend. Man wird deshalb zutreffendere Werte für die isostatische Reduktion der Schwerebeschleunigung berechnen, wenn man von einer ausgeglichenen Form der Erdoberfläche ausgeht, auch wenn die durchschnittliche Höhe aus einem Gebiet abgeleitet wird, dessen Umkreis mehr oder weniger willkürlich gewählt wird.

Resultate der isostatischen Reduktion für $T=120$ km. — Zur Berechnung der isostatischen Schwerebeschleunigungen der Schweiz wurde willkürlich angenommen, dass für die Dichte des

Massendefektes die durchschnittliche Höhe des Terrains innerhalb eines Quadrates von 8 km Seitenlänge massgebend sei. Die unter dieser Annahme abgeleiteten, isostatischen Schwereanomalien sind in der *Figur 2* der Tafel dargestellt; sie beruhen auf dem von Helmert im Jahre 1901 abgeleiteten Ausdruck für die normale Schwere im Meeresniveau

$$\gamma_0 = 978,030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2 \varphi) \text{ cm/sec}^2$$

und auf dem Wert

$$T = 120 \text{ km}$$

für die Tiefe der Ausgleichsfläche.

Die Darstellung zeigt, dass innerhalb des zentralen Teiles der Schweizer Alpen ein Gebiet mit negativen Anomalien vorhanden ist; sie erreichen im östlichen Teil des Landes, in der Umgegend von Chur, $-0,40 \text{ cm/sec}^2$, während im südwestlichen Teil, südlich des Rhonelaufes im Kanton Wallis, die Abweichungen nur bis $-0,015 \text{ cm/sec}^2$ gehen. Sowohl nördlich als südlich der Alpen besteht ein Gebiet mit positiven Anomalien; sie nehmen — von einigen kleinen Störungen am Nordfuss der Alpen abgesehen — zu mit der Annäherung an den Jura und betragen in der Rheingegend bei Basel $+0,050$ bis $+0,060 \text{ cm/sec}^2$. Südlich des St. Gotthardgebietes tritt ein starkes Störungsgebiet hervor, dessen Zentrallinie auf italienischem Boden nordwestlich des Lago Maggiore zu verlaufen scheint. Die scharfe Umgrenzung und die rasche Aenderung der Anomalien in diesem Gebiet sprechen dafür, dass die Störungsmassen sehr oberflächlich in der Erdrinde liegen

Prüfung des für die Tiefe der Ausgleichsfläche angenommenen Wertes. — Es ist von besonderem Interesse, zu prüfen, ob der von Herrn Hayford aus den Lotabweichungen Nordamerikas und von Helmert aus der Schwerestörung an der Küste abgeleitete Wert für die Tiefe der Ausgleichsfläche auch Geltung habe *innerhalb* eines Kontinentes. Zu dieser Prüfung sind die Schwerewerte eines Gebirgslandes wie der Schweiz in besonderem Masse geeignet. Sie wurden deshalb ausser für $T = 120 \text{ km}$ auch für die folgenden Annahmen

$$T = 80, 100, 140, 160 \text{ km}$$

isostatisch reduziert. Bildet man für jede Annahme von T das arithmetische Mittel der Werte der isostatischen Anomalien, die in einer der *Fig. 2* entsprechenden graphischen Darstellung für regelmässig verteilte Punkte des untersuchten Gebietes abgelesen werden, so wird dieser *Durchschnittswert* in hohem Grade unabhängig sein von der willkürlichen Annahme über die Grösse des Kompensationsgebietes in horizontalem Sinn, da er sich mit einer Aenderung des Umkreises, aus welchem die für die Dichte des Defektes massgebenden, mittleren Höhen abgeleitet wurden, nur unmerklich ändern kann. Der Ableitung dieser Durchschnittswerte der isostatischen Anomalien wurde die neuere, 1915 von Helmert abgeleitete Formel für die normale Schwere im Meeresniveau

$$\gamma_0 = 978,052 (1 + 0,005285 \sin^2 \varphi - 0,000007 \sin^2 2 \varphi) \text{ cm/sec}^2$$

zu Grunde gelegt; es ist innerhalb der Breiten, die in der Schweiz vorkommen:

$$\gamma_0^{(1915)} = \gamma_0^{(1901)} + 0,013 \text{ cm/sec}^2.$$

Dieser Normalwert ist aber noch um einen kleinen Betrag $\Delta \gamma_0$ zu vermindern, wenn man

FIG. 1.

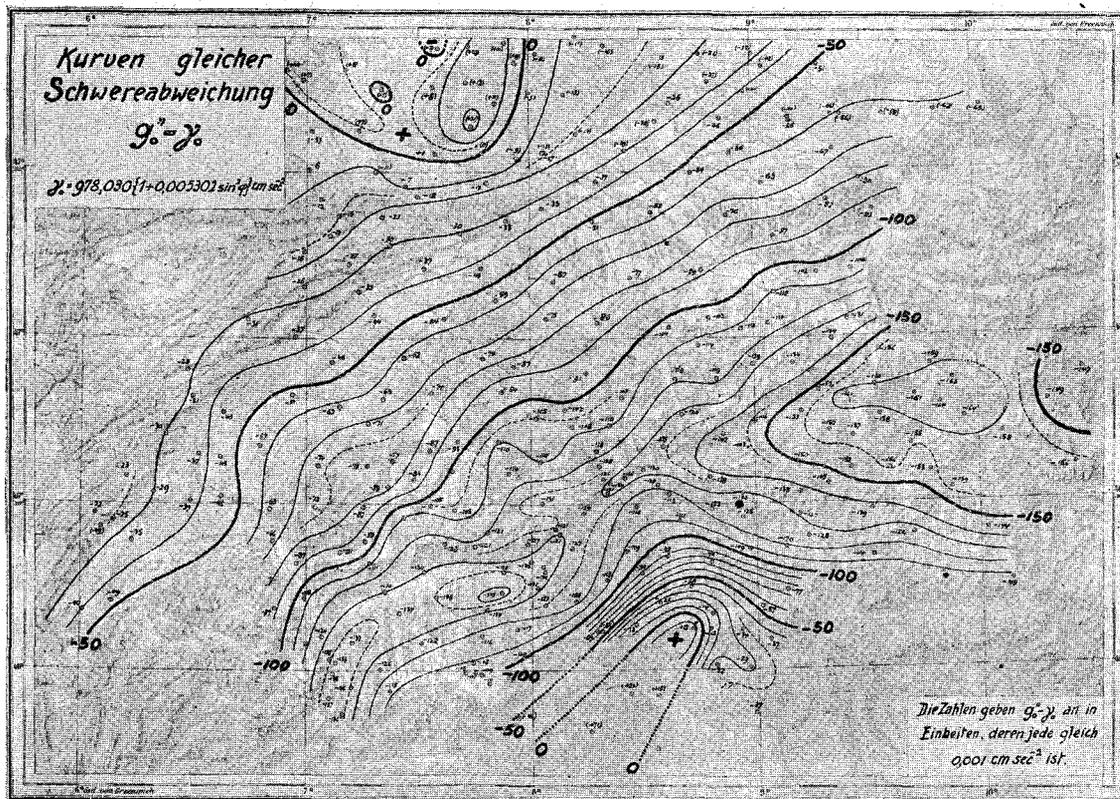
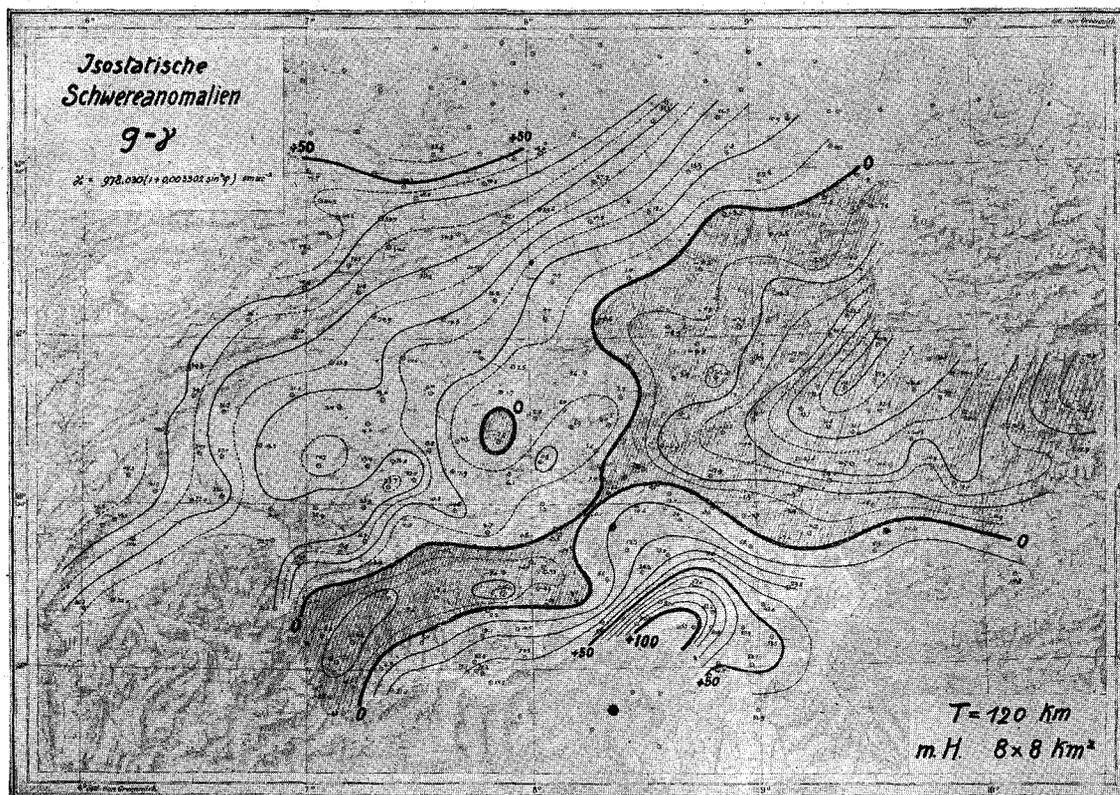


FIG. 2.



dem Umstand Rechnung tragen will, dass die isostatische Normalschwere im Meeresniveau kleiner ist als die Helmertsche Normalschwere, die abgeleitet ist unter der Annahme, dass die äusseren Massen auf das Meeresniveau kondensiert werden.

Die Durchschnittswerte der isostatischen Schwereanomalien werden dann gleich *null*, wenn

$$\Delta \gamma_0 = 0,002 \text{ cm/sec}^2 \text{ und } T = 110 \text{ km}$$

oder wenn

$$\Delta \gamma_0 = 0,005 \text{ cm/sec}^2 \text{ und } T = 120 \text{ km}$$

angenommen wird.

Insofern somit die Reduktion des Helmertschen Normalwertes der Schwere auf isostatische Normalschwere zwischen $-0,002$ und $-0,005 \text{ cm/sec}^2$ liegt, werden die in der Schweiz beobachteten Schwerbeschleunigungen am besten dargestellt, wenn für die Tiefe der Ausgleichsfläche ein zwischen 110 und 120 km liegender Wert angenommen wird. Eine erhebliche Unsicherheit müsste diesem Resultat nur dann zugeschrieben werden, wenn weitere Rechnungen ergäben, dass innerhalb eines Gebietes von der Ausdehnung der Schweiz die Kompensation zwischen den Massen oberhalb des Meeresniveaus und dem Massendefekt unterhalb unvollständig sei oder dass für die Reduktion des Helmertschen Normalwertes von 1915 auf die isostatische Normalschwere beträchtlich mehr als $0,005 \text{ cm/sec}^2$ anzusetzen seien.

(Signé) Th. NIETHAMMER.

II. MESURES DE DIFFÉRENCES DE LONGITUDE

EXÉCUTÉES PAR LA COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE, DE 1912 A 1914 ET DEPUIS 1919.

(Note de M. Emile BRUNNER.)

Décidées en principe depuis un assez grand nombre d'années, les nouvelles mesures de différences de longitude ont été mises à exécution en 1912, après que la Commission géodésique suisse eut procédé aux préparatifs et fait l'acquisition du matériel nécessaire. Le programme tendait avant tout à rattacher entre eux en longitude les cinq observatoires du pays; à ce but correspondent les déterminations de longitude *Zurich-Gurten (Berne)* et *Zurich-Bâle* en 1912, *Gurten (Berne)-Genève* et *Bâle-Genève* en 1913 et enfin *Neuchâtel-Genève* et *Zurich-Neuchâtel* en 1914. On voit par là que les observatoires de Genève et de Zurich ont été choisis comme points fondamentaux et que ceux de Bâle, Berne (Gurten) et Neuchâtel ont été reliés aux premiers. Une détermination directe de la longitude Zurich-Genève, commencée en 1914, a été interrompue par la guerre et a dû être renvoyée à des temps meilleurs.

Ce n'est qu'en 1919 que cette branche de l'activité de la Commission a pu être reprise. Il s'agissait alors de compléter le réseau dans les régions dépourvues d'observatoires, soit à l'est et au sud de la Suisse.

Le principe qui avait prévalu, lors de la première série de mesures de 1912 à 1914, de joindre directement chaque nouvelle station aux deux stations principales de Genève et de Zurich, a été

maintenu. C'est ainsi qu'ont été exécutées: en 1919 les déterminations de longitude *Coire-Zurich* et *Coire-Genève*; en 1920 la détermination *Zurich-Genève*, qui avait été ajournée en 1914, suivie de celles de *Brigue (Simplon)-Genève* et de *Zurich-Brigue (Simplon)*; en 1921 enfin celles de *Poschiavo-Zurich* et *Poschiavo-Genève*. Les différences de longitude *Bellinzone-Genève* et *Bellinzone-Zurich* sont portées au programme de l'année 1922. La Commission se prononcera sans doute dans sa prochaine séance sur l'utilisation totale ou partielle des anciennes déterminations des stations Righi et Gäbris, les seules dont, d'après les travaux de compensation du réseau européen, l'exactitude paraisse suffisante.

Le réseau de premier ordre comprendra alors les onze stations suivantes, réparties uniformément sur l'ensemble du pays et échelonnées à peu près le long de trois parallèles distants les uns des autres d'un peu plus d'un demi-degré:

- 1) Genève, Brigue (Simplon), Bellinzone, Poschiavo, par $46^{\circ},3$ de latitude.
- 2) Neuchâtel, Gurten (Berne), Righi, Coire, » $46^{\circ},9$ » »
- 3) Bâle, Zurich, Gäbris, » $47^{\circ},5$ » »

ce qui s'adapte fort bien aux suggestions que le regretté Helmert avait faites, jadis, sur la demande de la Commission.

Le réseau ainsi conçu présente d'abord l'avantage d'un contrôle pour chacune des stations; puis, par suite de son homogénéité, celui d'une compensation très simple; il augmente enfin sensiblement le poids de la différence de longitude fondamentale *Zurich-Genève*, qui, outre sa mesure directe, sera représentée par un certain nombre de sommes et de différences de deux déterminations de longitude indépendantes, dont à ce jour six sont déjà effectuées. Puis il faudra envisager le rattachement avec l'étranger de Genève et de Zurich, une fois les déterminations internes de premier ordre terminées.

Toutes les différences de longitude ont été mesurées au moyen de la télégraphie ordinaire, et l'on a suivi dans ses grandes lignes la méthode indiquée par Albrecht dans « *Formeln und Hilfstafeln für geographische Ortsbestimmungen*, 4. Aufl., Leipzig 1908, pag. 104-120 ». Cependant depuis 1919 quelques modifications assez importantes ont été apportées aux circuits électriques des stations.

Les observations astronomiques, servant à déterminer l'heure, ont été exécutées avec des instruments de passage de Bamberg, munis de micromètres impersonnels enregistreurs de Repsold, actionnés directement par les observateurs et agissant sur des chronographes à pointe de Fuess. Chaque instrument était placé sur un pilier en maçonnerie, spécialement construit à cet effet et ne touchant nulle part le plancher de la cabane d'observation qui l'entourait. La Commission géodésique possède deux de ces cabanes, démontables et facilement transportables, qui ont été utilisées partout où un autre abri faisait défaut. Elles renfermaient tous les instruments et appareils, à l'exclusion des pendules *Riefler* qui étaient montées dans des bâtiments voisins, si possible au sous-sol. Ces derniers locaux étant peu sujets aux variations de température, les irrégularités de marche des pendules n'ont présenté que peu d'importance. L'équipement des deux stations était d'ailleurs sous tous les rapports exactement le même.

Chaque fois que de nouveaux observateurs ont été appelés à ces travaux, ils ont commencé par exécuter une mesure de différence de longitude zéro, soit à Bâle, soit à Zurich, afin de se

familiariser avec la méthode et les instruments. Les deux stations avaient été aménagées dans ce but à quelques mètres l'une de l'autre.

Dans la règle une détermination de longitude comportait une série de 8 à 10 soirées, au milieu de laquelle un échange des observateurs et des instruments avait lieu. Remarquons tout de suite que la différence d'équation personnelle et instrumentale, qui se trouve de ce fait éliminée et en même temps déterminée, a toujours été très faible et que, pendant les trois dernières années, au cours desquelles les observateurs sont restés les mêmes, elle a atteint une moyenne de $0^s,003$ et un maximum de $0^s,014$. Ces chiffres témoignent donc bien en faveur du micromètre impersonnel.

Quant à la précision de ces micromètres, on peut représenter l'erreur probable de la moyenne des deux points enregistrés par un même contact, mais dans les deux positions de la lunette, lors du passage d'une étoile de déclinaison δ , par la formule:

$$\mu_p = \pm \frac{2}{3} \sqrt{0^s,03^2 + \left(\frac{2^s,3}{v}\right)^2 \sec^2 \delta}$$

dans laquelle v représente le grossissement de la lunette (86 fois). Nous nous sommes basés pour l'établir sur toutes nos observations de la dernière période, soit sur plusieurs milliers de passages, observés par cinq personnes différentes. Albrecht, dans l'ouvrage cité plus haut, indique dans l'annotation, pag. 21, pour l'erreur moyenne, la valeur:

$$\mu = \pm \sqrt{0^s,04^2 + \left(\frac{2^s,1}{v}\right)^2 \sec^2 \delta}$$

Une soirée comprenait trois doubles échanges de 30 signaux télégraphiques, encadrant deux groupes d'observations astronomiques, composées à leur tour de l'enregistrement des passages au méridien de 9 étoiles horaires, voisines du zénith, et de 2 étoiles circumpolaires, une dans chaque culmination, afin de fixer l'azimut de l'instrument. En 1912 seulement un procédé quelque peu différent avait été en usage.

Le retournement de la lunette au milieu de chaque passage et le nivellement de son axe dans les deux positions ont permis de pousser très loin l'élimination des erreurs instrumentales. De plus, il était tout indiqué de tirer avantage de la faible extension du pays — environ 16 minutes entre les stations extrêmes de l'est et de l'ouest et $1^0,3$ du nord au sud — pour s'affranchir des erreurs systématiques dans les positions des étoiles, en utilisant des groupes identiques aux deux stations. Nous avons donc renoncé, depuis 1919, au laborieux calcul de la correction des ascensions droites, et nous nous sommes bornés à ramener, par des réductions relativement simples, les groupes incomplètement observés à l'ensemble des groupes complets. Nous nous sommes du reste efforcés de n'utiliser que ces derniers pour la plus grande partie du calcul, surtout depuis la reprise des travaux en 1919.

Les positions des étoiles sont basées sur les données du "Preliminary General Catalogue" de L. Boss pour l'année 1900 (Washington 1910); leur grandeur variait entre 3,5 et 6,0. Les réductions ont été calculées au moyen de la formule de Mayer, et nous avons eu soin de choisir les étoiles horaires de chaque groupe de telle sorte que la moyenne de leurs coefficients d'azimut ne dépassât

pas 0^s,02. L'azimut de l'instrument n'atteignant le plus souvent qu'une petite fraction de seconde sidérale, son influence sur la correction de la pendule était généralement négligeable.

Comme nous l'avons dit plus haut, un échange de signaux télégraphiques comprend 30 signaux émis par une station et 30 par l'autre, enregistrés à chacune d'entre elles par la même pointe du chronographe que les passages d'étoiles. Les différences des heures des pendules, déduites de ces deux séries, ne sont pas tout à fait égales, à cause du temps de transmission des signaux, dont la valeur peut être évaluée de un à deux millièmes de seconde par 100 km, en prenant en considération les résultats de toutes les mesures de ce genre effectuées en Suisse et portant sur des lignes télégraphiques de 100 à 500 km de longueur. Après avoir tenu compte de cette circonstance et rendu les 60 différences d'heure de l'échange comparables entre elles, leur concordance nous a permis le calcul de l'erreur probable d'un échange complet: elle est en moyenne de $\pm 0^s,0015$.

Malgré ces résultats satisfaisants, la Commission géodésique suisse se verra très probablement, dans un avenir assez prochain, dans l'obligation de remplacer la télégraphie ordinaire par la télégraphie sans fil, pour parer à la difficulté toujours grandissante de disposer des lignes nécessaires, difficulté qui se fera certainement doublement sentir lorsqu'il s'agira des raccordements avec les pays environnants.

Nous donnons ci-après un aperçu général des 13 différences de longitude qui ont été déterminées jusqu'ici et, dans la dernière colonne, des valeurs qui en résultent pour la longitude Zurich-Genève.

Epoque de la mesure	Station	Longitude Est :				Longitude Zurich-Genève	
		de Genève	Poids	de Zurich	Poids		Poids
1912/13	Bâle	+ 5 ^m 42 ^s ,888	1	— 3 ^m 52 ^s ,849	1	9 ^m 35 ^s ,737	1/2
1912/13	Gurten (Berne)	+ 5 ^m 10 ^s ,140	1	— 4 ^m 25 ^s ,574	1	714	1/2
1914	Neuchâtel	+ 3 ^m 13 ^s ,236	1	— 6 ^m 22 ^s ,496	1	732	1/2
1919	Coire	+ 13 ^m 27 ^s ,270	1	+ 3 ^m 51 ^s ,524	1	746	1/2
1920	Zurich	+ 9 ^m 35 ^s ,764	1	—	—	764	1
1920	Brigue (Simplon)	+ 7 ^m 24 ^s ,316	1	— 2 ^m 11 ^s ,428	1	744	1/2
1921	Poschiavo	+ 15 ^m 38 ^s ,059	1	+ 6 ^m 2 ^s ,310	1	749	1/2
Moyenne générale:						9 ^m 35 ^s ,744	4

Les erreurs probables de ces 13 longitudes atteignent en moyenne $\pm 0^s,005$, au maximum $\pm 0^s,008$ et au minimum $\pm 0^s,003$, et les erreurs probables accidentelles pour l'unité de poids, c'est-à-dire pour la valeur d'une longitude résultant d'une soirée complètement observée aux deux stations, sont respectivement $\pm 0^s,014$, $\pm 0^s,024$ et $\pm 0^s,008$. La moyenne générale indiquée pour la différence de longitude Zurich-Genève est affectée d'une erreur probable de $\pm 0^s,004$, déduite de la concordance des 7 valeurs de la dernière colonne.

Nous ne voulons pas pousser plus loin, aujourd'hui déjà, la discussion des résultats, jugeant préférable d'attendre pour cela que le réseau de premier ordre soit tout à fait terminé; nous ferons d'ailleurs remarquer qu'une compensation provisoire a suivi la première série de mesures en 1914 et qu'elle est publiée dans les « Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, vol. XIV, pag. 226, Zurich 1915 ».

III. NIVELLEMENT ASTRONOMIQUE DANS LE MÉRIDIEN DU GOTHARD.

(Traduit des notes de M. E. HUNZIKER.)

1. Le *programme* de ce travail comportait la mesure de la latitude astronomique pour 54 stations dont le choix a été déterminé surtout par la préoccupation que ces points se trouvent situés le plus près possible d'un même méridien, celui du Gothard, et espacés aussi régulièrement que possible.

Le point le plus méridional a une latitude de $46^{\circ} 7'$; le plus boréal une latitude de $47^{\circ} 38'$. La distance de deux stations voisines correspond donc en moyenne à un arc de $2'$.

La longitude par rapport au méridien de Greenwich du point le plus occidental est de $34^{\text{m}} 30^{\text{s}},4$; celle du point le plus oriental de $34^{\text{m}} 38^{\text{s}},5$; de sorte que toutes les stations se trouvent situées entre ces deux méridiens limites.

Sur les 54 points, 45 concordent avec des points de triangulation; pour les 9 autres il a fallu déterminer les coordonnées géodésiques.

2. *Travaux.* — Les mesures de la latitude astronomique exécutées durant les campagnes de 1916 à 1918 ont été faites au moyen d'un astrolabe à prisme du modèle géodésique de M. Jobin. Avec cet instrument on observe les étoiles dans l'almucantar de 30° de distance zénithale. On aperçoit, au passage des étoiles dans le champ de la lunette, deux images de chaque étoile, l'une directe, l'autre réfléchie, dont la coïncidence est observée par la méthode de l'ouïe et de la vue.

Le programme normal prévoyait, pour chaque station, l'observation de 80 à 100 passages d'étoiles qui étaient ultérieurement séparés en quatre séries de 20 à 25 étoiles et compensés par la méthode des moindres carrés. Par ce traitement, on a trouvé, en moyenne, que la latitude astronomique d'une station présentait une erreur moyenne de $\pm 0'' ,18$. Pour vérifier l'exactitude de cette approximation, des mesures de contrôle ont été exécutées au printemps de 1921 à quatre stations. Il n'est cependant pas possible de donner dès maintenant un résultat définitif à ce sujet, parce que les coordonnées du pôle moyen ne sont pas encore connues pour cette époque.

3. *Prévisions pour la marche des recherches ultérieures.* — Les composantes ξ de la déviation de la verticale, dans le méridien, sont données plus loin pour les 54 stations. Un coup d'œil sur ces résultats suffit à montrer que de fortes variations se présentent souvent d'une station à l'autre. C'est particulièrement le cas pour des points entre stations de sommets et stations de vallées. L'influence des masses visibles se manifeste de la façon la plus accusée pour le point N^o 28 qui présente une déviation de $21''$ en chiffres ronds.

Deux alternatives se présentaient: ou bien se contenter d'une coupe plus ou moins schématique du géoïde; ou bien déterminer le profil méridien des ξ en calculant la latitude en des points supplémentaires, intermédiaires entre les stations déjà déterminées du nivellement; et en tenant compte de l'influence troublante des masses visibles. La Commission géodésique a décidé de choisir la seconde voie beaucoup plus satisfaisante, mais aussi plus ardue.

Une recherche spéciale a montré qu'en adoptant l'hypothèse de Pratt de l'équilibre isostatique

de la croûte terrestre, il faudrait faire entrer en ligne de compte les masses visibles jusqu'à une distance de 70 km. Malheureusement ces calculs très étendus n'ont pas encore pu être exécutés, parce que les deux ingénieurs de la Commission ont été constamment occupés à d'autres travaux; mais ces calculs sont prévus pour un avenir peu éloigné. Il a aussi été décidé de tenir compte, dans la détermination du profil méridien du géoïde, de la courbure de la verticale.

4. *Résultats obtenus.* — Dans le tableau final, les deux premières colonnes indiquent le numéro d'ordre et le nom des stations du nivellement astronomique; la troisième donne, en mètres, leur altitude au-dessus du niveau moyen des mers; la quatrième fournit la valeur provisoire de la latitude astronomique réduite au pôle moyen; dans la dernière colonne figure enfin la composante ξ de la déviation de la verticale dans le méridien, comptée dans le sens latitude astronomique moins latitude géodésique; il en résulte qu'une valeur positive de ξ correspond à une déviation du zénith vers le nord.

A noter encore que l'ellipsoïde de référence a été choisi de telle façon que l'on attribue une déviation zéro ($\pm 0',00$) au point de départ de la triangulation suisse de premier ordre à Berne. La latitude astronomique de ce point de départ est d'ailleurs de $46^{\circ} 57' 8''.66$.

Numéro et nom de la station	Hauteur au-dessus de la mer m	Latitude	ξ
1. Ghiridone	2187,7	$46^{\circ} 7' 16'', 99$	— $11'', 48$
2. Rasa	923,8	$9' 23'', 98$	— $2'', 27$
3. Aula	1417,0	$10' 46'', 10$	— $7'', 86$
4. Sopra Mosogno	1727,5	$12' 37'', 09$	— $14'', 55$
5. Monte di Loco	2064,1	$13' 48'', 74$	— $8'', 03$
6. Alpe Pii	1647,0	$16' 8'', 25$	+ $1'', 64$
7. Pioda nera	471,1	$17' 19'', 87$	+ $1'', 04$
8. Costa Piana	1878,4	$19' 0'', 38$	— $7'', 97$
9. La Costa	1585,5	$20' 24'', 94$	— $2'', 68$
10. Alpe Larescio	1720,8	$23' 18'', 11$	— $3'', 92$
11. Pizzo Mascarpino	2450,4	$25' 22'', 46$	— $15'', 02$
12. Pizzo Zambaroide	2483,7	$27' 15'', 05$	— $3'', 91$
13. Pizzo Corno	2500,6	$29' 35'', 94$	— $0'', 90$
14. Airolo	1169,1	$31' 29'', 16$	— $4'', 92$
15. Giubing	2776,6	$33' 47'', 93$	— $8'', 39$
16. Gfallenberg	2625,8	$36' 10'', 59$	+ $4'', 62$
17. Firstplangge	2172,5	$37' 48'', 81$	+ $0'', 11$
18. Oberalp	1997,1	$39' 13'', 01$	+ $7'', 02$
19. Rienzerstock	2957,4	$41' 12'', 65$	+ $8'', 64$
20. Fellhorn	2111,8	$43' 35'', 12$	+ $14'', 80$
21. Meitschlingen	660,7	$45' 18'', 69$	+ $9'', 41$

Numéro et nom de la station	Hauteur au-dessus de la mer m	Latitude	ξ
22. Arniberg	1318,1	46' 41", 04	+ 5", 97
23. Seewatte bei Erstfeld	471,1	49' 4", 27	+ 12", 61
24. Plätteli bei Erstfeld	551,4	50' 1", 55	+ 9", 58
25. Schattdorf	511,0	52' 7", 04	+ 13", 43
26. Eggberge	1687,9	54' 17", 52	+ 6", 01
27. Rophaien	2077,2	55' 53", 68	+ 8", 42
28. Bärentross	1628,1	59' 8", 78	+ 20", 77
29. Schwyz	541,0	47° 1' 30", 25	+ 2", 49
30. Engelstock	1296,9	3' 33", 38	+ 0", 73
31. Morgarten	1238,8	6' 12", 40	+ 5", 68
32. Grindelegg	1087,4	7' 42", 32	+ 4", 10
33. Gottschalkenberg	1164,0	9' 40", 89	+ 9", 16
34. Hütten	768,3	11' 0", 67	+ 6", 13
35. Hochwacht	654,1	13' 1", 99	+ 3", 41
36. Au	467,8	15' 2", 78	+ 0", 62
37. Meilen	536,4	16' 19", 01	— 6", 99
38. Toggwil	700,8	17' 31", 69	— 6", 44
39. Forch	696,1	19' 25", 87	— 2", 39
40. Maur	620,6	20' 39", 29	— 2", 44
41. Schwerzenbach	448,2	22' 42", 22	— 5", 43
42. Wangen	504,8	24' 51", 81	— 7", 25
43. Nürensdorf	548,5	26' 48", 78	— 8", 66
44. Brütten	617,8	28' 40", 50	— 8", 03
45. Pfungen	519,1	30' 37", 55	— 6", 22
46. Hünikon	525,0	33' 3", 94	— 8", 30
47. Goldenberg	510,9	34' 35", 02	— 8", 76
48. Marthalen	406,0	37' 2", 10	— 11", 43
49. Benken	467,6	39' 19", 29	— 13", 06
50. Feuerthalen	439,3	41' 14", 90	— 11", 29
51. Tanscherhalde	438,8	42' 38", 10	— 12", 74
52. Stetten	588,9	44' 2", 64	— 15", 09
53. Büttenhard	675,2	45' 42", 06	— 13", 76
54. Sotteneegg bei Altdorf	633,6	47' 35", 26	— 3", 81

IV. NIVELLEMENT DE PRÉCISION DE LA SUISSE.

(Note de M. H. ZELLY, chef de la Section de géodésie au Service topographique fédéral.)

Le nivellement, commencé en 1903, se terminera en 1923.

Le réseau a été établi en tenant compte des changements éventuels de forme du globe terrestre. Il comprend :

- 1 ligne longeant les plus hautes vallées du Jura suisse,
- 1 ligne au pied sud-est du Jura suisse,
- 1 ligne le long du plateau suisse,
- 1 ligne au pied des Préalpes,
- 1 ligne le long des vallées du Rhône et du Rhin,
- 5 lignes au travers des Alpes, en passant entre autres les tunnels du Loetschberg, du Gothard et du Simplon.

Au total 18 polygones avec rattachements aux pays limitrophes. Les lignes suivent en général les grandes routes, en évitant les chemins de fer, les endroits marécageux et les grandes villes. La position altimétrique varie entre 200 et 2436 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Repérage. — Il se fait par groupes principaux et secondaires se composant d'un repère principal en bronze et de deux à trois repères secondaires également en bronze. Les repères sont scellés soit dans les murs d'anciens bâtiments soit sur le rocher. On exécute des croquis de chaque groupe. La conservation des repères est assurée par des revisions fréquentes; leur surveillance est à la fois cantonale et fédérale.

Instruments. — De 1903 jusqu'en 1913: niveau Kern et Breithaupt, agrandissement 40 fois; mires en bois, système mires à réversion et Goulier graduées en millimètres. Les mires sont tenues verticales au moyen de contrefiches permettant de tourner la mire placée sur un pied en fer. Depuis 1913: niveau Zeiss-Wild avec plaque de verre plan-parallèle et tambour, agrandissement 36 fois, mires Zeiss à ruban en invar, contrefiches et pieds en fer.

Méthode de nivellement. — Deux opérateurs différents travaillent en sens inverse avec instruments et aides spéciaux. La portée des visées est, en moyenne, de 20 mètres; elle monte exceptionnellement jusqu'à 40 mètres en terrain horizontal. Le niveau est placé exactement à égale distance des mires d'arrière et d'avant. Saison de la campagne de nivellement de mai à septembre. Le travail commence au lever du soleil et dure jusqu'à 8 ou 9 heures; il reprend depuis 15 heures jusqu'au coucher du soleil. On cesse les opérations lorsque les images deviennent ondulantes.

Vérifications des mires. — Pour les mires à réversion et Goulier en bois, on les compare chaque jour sur le terrain, puis au commencement et à la fin de la campagne, au printemps et en automne. Depuis 1913 le contrôle sur le terrain est supprimé, les rubans en invar restant à peu près

invariables. On ne fait plus que des comparaisons au grand comparateur au printemps et en automne.

Calculs. — On procède en hiver aux réductions et aux additions de tous les levés, en tenant compte des températures notées. On établit une compensation provisoire afin de donner chaque printemps des cotes pour tous les travaux techniques de la campagne d'été. Une compensation complète de tout le réseau, sur des bases scientifiques, sera exécutée après la fin du travail.

Exactitude. — L'exactitude atteinte, calculée par les formules internationales de M. Ch. Lallemand, est de $\pm 0,4$ millimètres pour l'erreur accidentelle et de $\pm 0,25$ millimètres pour l'erreur systématique par km.

V. TRIANGULATION DE 1^{er}, 2^{me} ET 3^{me} ORDRE.

(Note de M. H. ZÖLLY sur les travaux exécutés de 1909 à 1922.)

Le code civil suisse de 1907 prévoyait une mensuration cadastrale de tout le territoire de la Confédération. Le *Service topographique fédéral* a dû, dans ce but, faire une triangulation complète du 1^{er} au 3^{me} ordre.

Il s'est appuyé pour cela sur la triangulation de 1^{er} ordre exécutée de 1864 à 1890 par la *Commission géodésique suisse*. Mais, comme le réseau de cette triangulation n'embrassait, outre le plateau suisse, qu'une partie des Alpes bernoises, valaisannes et grisonnes, il a fallu dresser un nouveau réseau de 1^{er} ordre complémentaire. Parmi les nouveaux sommets de triangles de ce réseau se trouvent le Mont-Rose (Dufourspitze) de 4635 m d'altitude, le Finsteraarhorn de 4272 m, le Piz Bernina de 4052 m, etc., puis de nombreux points des Préalpes et du plateau suisse. Le nouveau réseau complet comprend 60 points de 1^{er} ordre sur lesquels on a placé, depuis 1909, des signaux trigonométriques.

Les *mesures d'angles* ont été exécutées sur chaque station d'après la méthode des secteurs et au moyen de théodolites Hildebrand à deux microscopes et à axe simple de 21 cm de diamètre.

Les signaux employés ont été des héliotropes pour le plateau suisse et pour une partie des stations de haute montagne; pour le reste de celles-ci on a construit des piliers cylindriques (Steinmann) en pierres sèches, surmontés de signaux en perches et planches croisées.

L'exactitude atteinte a été de $\pm 0",3$ pour la direction compensée sur la station et calculée sur la formule internationale d'après la fermeture des triangles.

Les observations sur les stations de 1^{er} ordre ont été faites de 1910 à 1916. Mais on pointait en même temps les directions sur les points du réseau de 2^{me} ordre qui avaient été également reconnus et munis de signaux.

Les réseaux de détail de 3^{me} ordre ont été déterminés en même temps, de sorte que la triangulation complète du 1^{er} au 3^{me} ordre sur l'ensemble du territoire suisse sera terminée au cours de l'année 1922. Ce réseau complet comprendra environ cinq mille points qui serviront de base pour la triangulation de 4^{me} ordre et pour la mensuration cadastrale de la Suisse.

Les calculs ont toujours été exécutés à la suite des observations. Les mesures d'angles faites de 1910 à 1914 ayant démontré que l'ancien réseau de triangulation de 1^{er} ordre sur le plateau suisse répondait en général d'une manière suffisante aux exigences modernes, on a pris les coordonnées rectangulaires des points de ce réseau comme bases pour tout le nouveau réseau.

La partie de ce réseau qui comprend la chaîne des Alpes, de Genève, à l'ouest, à l'Engadine, à l'est, a été scindé, pour les calculs, en trois réseaux secondaires. L'exactitude obtenue pour une direction compensée est de $\pm 0''4$; et si l'on tient compte des difficultés du travail en haute montagne, on peut qualifier ce résultat de très satisfaisant.

Les points de 2^{me} et de 3^{me} ordre ont été calculés par petits réseaux partiels ou traités par la méthode des intersections combinées. L'erreur moyenne de la position d'un point de 3^{me} ordre de détail est de ± 2 cm ou de $1/200,000$ pour une longueur moyenne de 5 km environ pour un côté de triangle.

Les angles de hauteur ont été mesurés en même temps que les angles horizontaux, et les calculs relatifs à l'altitude s'exécutaient à la suite de ceux des coordonnées. En rapportant les hauteurs aux points trigonométriques immédiatement rattachés au nivellement de précision, on peut estimer l'exactitude moyenne de l'altitude définitive d'un point à $\pm 0^m,03$.

GENÈVE, avril 1922.

Pour la Commission géodésique suisse

Le président:

Raoul GAUTIER.



