

ASSOCIATION GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE

TRAVAUX
ASTRONOMIQUES ET GÉODÉSIQUES

EXÉCUTÉS EN

SUISSE

(Suite de la publication « Le Réseau de Triangulation suisse »)

PUBLIÉS PAR LA

COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE

de la Société helvétique des Sciences naturelles.

VOLUME XI

MESURE DE LA BASE GÉODÉSIQUE

DU

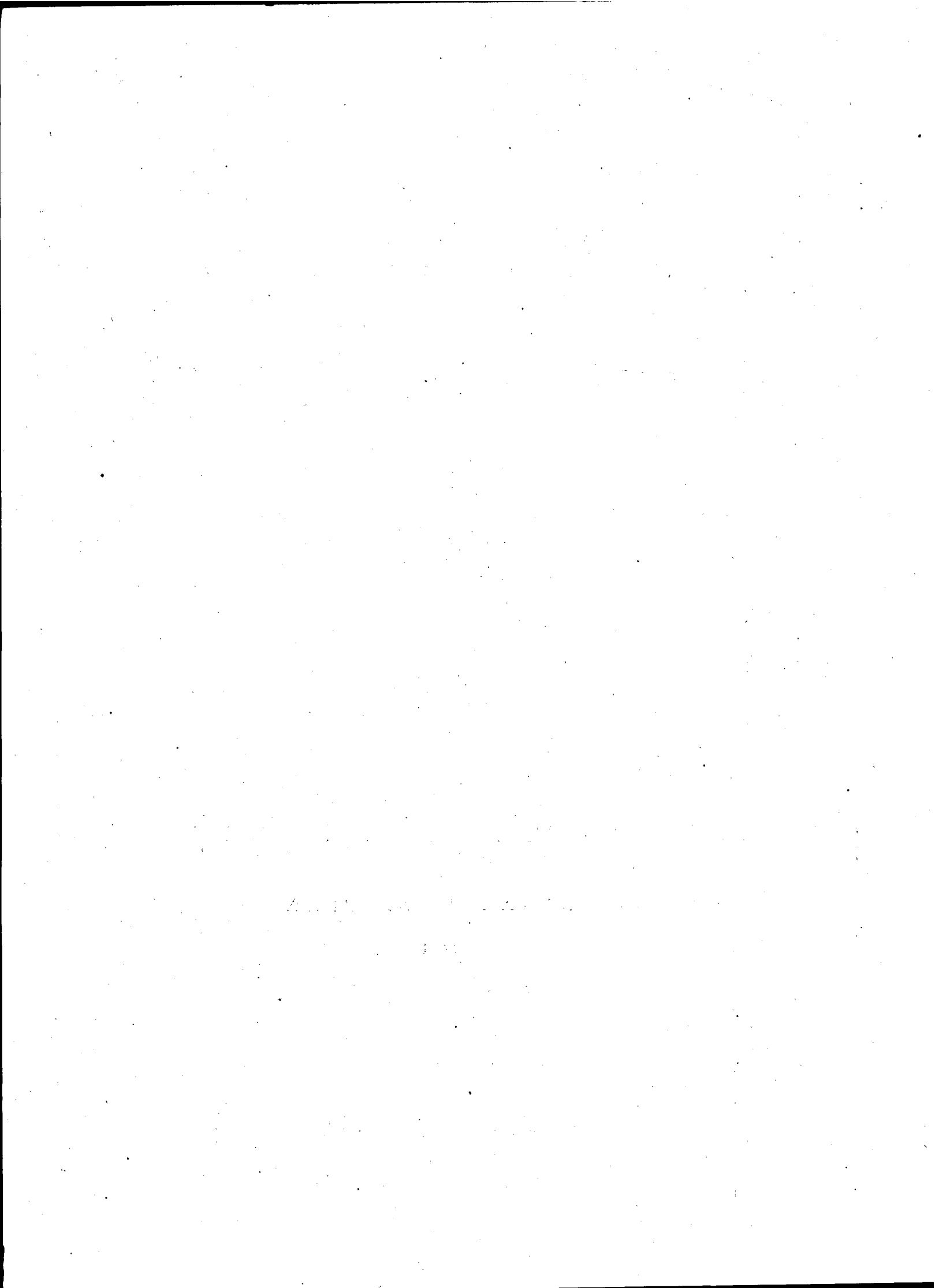
TUNNEL DU SIMPLON

Avec 35 figures.

ZURICH

EN COMMISSION CHEZ FAESI ET BEER

1908



THE UNIVERSITY OF CHICAGO

1962

PHYSICS DEPARTMENT

7

PHYSICS DEPARTMENT

1962

Internationale Erdmessung.

Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz

(Fortsetzung der Publication: „Das Schweizerische Dreiecknetz“)

herausgegeben von der

Schweizerischen geodätischen Kommission

Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Band XI

Die Messung der Grundlinie durch den
Simplon-Tunnel.

Mit 35 Abbildungen.

ZÜRICH

Kommissionsverlag von FÄSI & BEER (vorm. S. HÖHR)

1908.

ASSOCIATION GÉODÉSIQUE INTERNATIONALE

TRAVAUX
ASTRONOMIQUES ET GÉODÉSIQUES

EXÉCUTÉS EN

SUISSE

(Suite de la publication « Le Réseau de Triangulation suisse »)

PUBLIÉS PAR LA

COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE

de la Société helvétique des Sciences naturelles.

VOLUME XI

MESURE DE LA BASE GÉODÉSIQUE

DU

TUNNEL DU SIMPLON

Avec 35 figures.

ZURICH

EN COMMISSION CHEZ FAESI ET BEER

1908

GENÈVE
IMPRIMERIE ALBERT KÜNDIG

PRÉFACE

La mesure de la base du tunnel du Simplon n'a été possible que grâce à la collaboration dévouée de nombreuses activités scientifiques. Ce volume est aussi une œuvre collective: Notre savant compatriote, M. le D^r Ch.-Éd. Guillaume, directeur adjoint du Bureau international des poids et mesures, a bien voulu rédiger le chapitre II, le chapitre VI et le deuxième paragraphe du chapitre IV. Notre collègue, M. le professeur M. Rosenmund a rédigé le reste du volume, en se fondant, pour établir les résultats de la mesure, au chapitre V, sur les calculs exécutés par M. M. Knapp, ingénieur de la Commission. Enfin, notre collègue, M. le professeur R. Gautier a écrit l'introduction et s'est chargé de la révision des manuscrits et de la surveillance de l'impression¹. A tous nous adressons ici les sincères remerciements de la Commission géodésique suisse.

Mais l'expression de notre reconnaissance va plus loin et à d'autres encore:

A M. R. Benoit, directeur du Bureau international des poids et mesures, qui nous a prêté, le plus gracieusement du monde, le précieux concours de MM. Guillaume et Maudet;

Au Ministère des Travaux publics du Royaume d'Italie qui s'est fait représenter, pendant la mesure du tunnel, par M. l'ingénieur chevalier Carlo Nagel qui s'est vivement intéressé à toutes les opérations;

A la Direction générale des Chemins de fer fédéraux, à la Direction du I^{er} arrondissement en particulier, et à l'Entreprise du tunnel, qui ont tout fait pour faciliter le travail de la mesure;

¹ Par une curieuse coïncidence, ce volume, qui relate une mesure de base, se trouve rédigé en français, de même que le volume III de nos publications consacré à la mensuration des bases du réseau de triangulation suisse.

Au directeur du Service topographique fédéral, qui a bien voulu nous communiquer les résultats du nivellement exécuté, dans le tunnel, par les ingénieurs de ce service, immédiatement après la mesure de la base;

Aux ingénieurs de la Commission, ainsi qu'aux autres ingénieurs qui, avec M. Maudet, ont prêté leur appui à M. Guillaume et aux trois membres de la Commission, plus spécialement chargés du travail de la mesure de la base;

Aux polytechniciens enfin, qui ont rempli les autres fonctions dans les trois équipes de la mesure, et dont l'entrain juvénile, l'endurance et la belle humeur ont contribué à assurer la réussite de l'entreprise.

Ce volume est illustré d'un certain nombre de planches et de figures dans le texte. Les dessins pour les clichés typographiques ont été exécutés, les uns à Paris par les soins de M. Guillaume, les autres à Zurich par M. Morel. Quant aux planches, nous devons quelques clichés photographiques, empruntés à une publication antérieure, à l'obligeance de la Direction des Chemins de fer fédéraux (pl. I). Nous en devons d'autres à la complaisance de MM. Masson et C^{ie}, les éditeurs de la revue des sciences « La Nature » (pl. IV). La plupart des clichés ont été exécutés d'après des photographies prises au cours du travail, et qui nous ont été prêtées par M. le professeur A. Riggenbach, par M. le D^r Niethammer et par MM. Arlet, Lehmann et Morel.

A tous, travailleurs à la mesure de la base du Simplon, collaborateurs de tout ordre, rédacteurs de ce volume, nos meilleurs remerciements.

Au nom de la Commission géodésique suisse,

Lausanne, 25 juillet 1908.

Le Président :

J.-J. LOCHMANN.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
CHAPITRE PREMIER. — INTRODUCTION (M. Gautier)	1
CHAPITRE II. — LES INSTRUMENTS ET LEUR EMPLOI (M. Guillaume)	6
1. <i>Description des instruments</i>	6
Fils	6
Repères mobiles	7
Piquets-tenseurs	10
Tambours d'enroulage	10
Termes de la base, repères fixes et repères de contrôle.	11
Gabarit	15
2. <i>Emploi des instruments</i>	16
Opérations sur le terrain	16
Pentes	18
Alignement	18
CHAPITRE III. — ORGANISATION DE LA MESURE (M. Rosenmund)	19
1. <i>Dispositions préliminaires</i>	19
2. <i>Programme de la mensuration.</i>	22
A. Personnel	22
B. Matériel	23
C. Dispositions générales.	24
3. <i>Règlement pour la mesure</i>	25
Introduction	25
A. Mesure de la voie droite dans le tunnel.	25
B. Mesure à travers les galeries de direction	29
C. Mesure entre la galerie de direction nord et l'observatoire nord	31
D. Dispositions générales	31
4. <i>Note complémentaire</i>	34
5. <i>Mesure de la base d'essai</i>	35

CHAPITRE IV. EXÉCUTION DE LA MESURE. (MM. Rosenmund et Guillaume)	36
1. <i>Section de la base entre les repères n^{os} III et V</i>	36
2. <i>Section de la base entre les repères n^{os} III et I</i>	40
3. <i>Coût de la mesure</i>	43
CHAPITRE V. — CALCULS ET RÉSULTATS (M. Rosenmund, calculs de M. Knapp)	44
1. <i>Calcul préliminaire</i>	44
2. <i>Calcul des longueurs des portées et des différentes sections de la base.</i> (Tableau I).	44 48
3. <i>Réduction à l'horizon</i> (Tableau II)	68
4. <i>Réduction provenant des déviations</i> (Tableau III).	81
5. <i>Autres corrections</i>	88
6. <i>Résultats définitifs</i> (Tableau IV)	88
7. <i>Erreurs probables et discussion des résultats</i>	90
8. <i>Réduction à l'axe du tunnel et à une même altitude. Conclusion</i>	97
CHAPITRE VI. RAPPORT SUR L'ÉTUDE DES FILS EMPLOYÉS PAR LA COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE A LA MESURE DE LA BASE DU SIMPLON (M. Guillaume).	99
1. <i>Description des fils.</i>	99
2. <i>Dilatation des fils.</i>	100
3. <i>Détermination de l'équation des fils.</i>	101
Fils A ₃₁ , A ₃₂ , A ₃₃	101
Fil n° 64	105
Fils n ^{os} 98 et 99	106
4. <i>Comparaison des fils entre eux</i>	108
5. <i>Conclusion de l'étude des fils</i>	116
Fils de 24 mètres (n ^{os} 64, 98 et 99)	116
Fil de 8 mètres (n° 83)	119
Fil de 72 mètres (n° 100)	119
Ruban de 4 mètres (n° 4)	123

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION

Des nombreuses mesures de bases géodésiques qui ont été exécutées en Suisse avant celle qui fait l'objet de la présente publication, nous n'avons à rappeler ici que deux séries qui aient une valeur vraiment scientifique¹.

La plus ancienne a été exécutée en 1834 pour l'établissement de la carte Dufour. Elle comportait la mesure, par Eschmann, assisté de R. Wolf et de J. Wild, de la petite base du Sihlfeld près de Zurich, déjà mesurée en 1794, et de la base dite du « Grand Marais » près d'Aarberg, ou base de Walperswyl-Sugiez.

Les appareils qui ont servi à cette mensuration étaient des barres de 18 pieds de longueur obtenues par la soudure de tubes de fer aux bouts desquels se trouvaient des cylindres dont l'un était terminé par une surface plane, l'autre par une surface sphérique. Ces barres avaient été étalonnées au moyen d'une toise de six pieds construite par Repsold à Hambourg et de deux copies de cette toise exécutées par Oeri, le constructeur des barres. Pour la mensuration elle-même, les barres, portées par des lattes reposant sur des chevalets, étaient placées bout à bout, mais pas rapprochées au contact. On laissait entre elles un petit espace de deux ou trois lignes, qui était ensuite mesuré au moyen d'un coin d'acier trempé et gradué, que l'on introduisait délicatement jusqu'au contact.

Les deux bases, « réduites à la température de 13° Réaumur et au niveau de la mer », avaient les longueurs suivantes :

Base du Sihlfeld	3360 ^m ,256
Base d'Aarberg	13053 ^m ,740

¹ *La topographie de la Suisse, 1832-1864; Histoire de la carte Dufour*, publiée par le Bureau topographique fédéral, Berne, 1898, p. 44-63. Ou : *Die schweizerische Landesvermessung 1832-1864; Geschichte der Dufourkarte*, herausgegeben vom eidg. topographischen Bureau, Bern, 1896, p. 42-61.

ESCHMANN, *Ergebnisse der trigonometrischen Vermessungen in der Schweiz*, Zurich, 1840, p. 49-60.

R. WOLF, *Geschichte der Vermessungen in der Schweiz*, Zurich, 1879, p. 247-250.

Les travaux de la Commission géodésique suisse, instituée en 1861, comprenaient parmi les opérations nécessaires pour une nouvelle triangulation de premier ordre, la mensuration de plusieurs bases¹. Ces travaux ont été exécutés en 1880 et en 1881, et ont porté sur trois bases : 1^o base d'Aarberg, située dans le voisinage de la base primitive de Walperswyl-Sugiez, sur la route de Berne à Neuchâtel, avec son terme oriental au nord du village de Barga, près d'Aarberg ; 2^o base de Weinfeld, située sur la route de Winterthur à Romanshorn, entre la gare de Märstetten et Weinfeld ; 3^o base de Bellinzone qui se trouve sur la route conduisant de cette ville à Lugano, entre les villages de Giubiasco et de Cadenazzo.

La situation géographique de ces bases correspond à la forme générale du réseau de triangulation de la Suisse, qui se compose de trois branches émergeant du centre du pays et se soudant par leurs extrémités aux réseaux des pays voisins. La base d'Aarberg peut être considérée comme base centrale et les deux autres comme des bases de contrôle.

L'appareil qui a servi à la mensuration de ces bases était l'*appareil Ibañez*, que le Gouvernement espagnol avait mis gracieusement à la disposition de la Suisse. Son inventeur, le général Ibañez, président de l'Association géodésique internationale, avait eu l'obligeance de venir lui-même faire, avec son personnel, une double mesure de la base d'Aarberg en août 1880. Cette mesure fut immédiatement répétée par une équipe du Génie suisse dirigée par le colonel Dumur, chef de l'arme du Génie, et par le professeur Hirsch. Les deux autres bases furent mesurées, deux fois chacune, en juillet 1881, par une équipe suisse sous la direction des mêmes savants, auxquels se joignit encore le professeur E. Plantamour, membre, comme MM. Dumur et Hirsch, de la Commission géodésique suisse.

L'appareil Ibañez, construit en 1864 par Brunner frères à Paris, comportait l'emploi d'une seule règle monométallique à traits, de quatre mètres de longueur, dont les positions successives étaient marquées au moyen de quatre repères mobiles à microscopes établis sur de grands et solides trépieds. Les trois bases suisses ont donc été mesurées cette fois-ci suivant la méthode plus moderne de l'emploi d'une seule règle.

Les calculs de réduction fournissent pour les trois bases suisses les longueurs suivantes² :

Base d'Aarberg	2400 ^m ,111
Base de Weinfeld	2540 ^m ,335
Base de Bellinzone	3200 ^m ,408

¹ *Le réseau de triangulation suisse (Das schweizerische Dreiecknetz)*, vol. III ; *La mensuration des bases*, par A. HIRSCH et J. DUMUR, Lausanne, 1888.

² *La mensuration des bases*, p. 100.

La mesure de base géodésique exécutée en mars 1906 au tunnel du Simplon ne devait pas servir de point de départ pour une nouvelle triangulation de la Suisse ; elle pourra être utilisée ultérieurement pour donner un développement plus complet aux mesures géodésiques dans la partie méridionale de notre pays ; mais cette mensuration a eu plutôt un caractère occasionnel. Elle n'en offre pas moins un réel intérêt scientifique, comme application des nouveaux appareils permettant la mesure rapide des bases, et par la brièveté du temps dans lequel elle a été exécutée ; il est curieux enfin de constater que, pour une base mesurée dans un pays certes assez accidenté, elle n'en est pas moins la deuxième¹ en longueur des nombreuses bases mesurées directement en Europe jusqu'à l'époque actuelle.

On n'aurait jamais pu songer à exécuter cette mesure avec les anciens appareils, comportant l'emploi des règles géodésiques ; et il est nécessaire d'expliquer brièvement ici les origines de cette entreprise qui, au premier abord, pouvait paraître un peu téméraire. L'un des membres de la Commission géodésique suisse, M. R. Gautier, est membre aussi du Comité international des poids et mesures. En cette qualité, il avait eu l'occasion d'étudier et de voir fonctionner au Pavillon de Breteuil, à Sèvres, les nouveaux appareils combinés par MM. Benoit et Guillaume pour la mesure rapide des bases, et dont les fils d'invar, dérivés des fils de l'ingénieur suédois Jäderin, constituent un élément essentiel. M. Gautier avait aisément décidé la Commission géodésique suisse à acquérir un jeu de ces fils. Puis c'est un autre membre de la Commission, M. A. Riggenbach², qui a eu l'idée, au printemps de 1905, lorsque la percée définitive du tunnel du Simplon a été un fait accompli, de profiter de la période d'achèvement des travaux, avant l'ouverture du tunnel à l'exploitation, pour que la Commission géodésique utilise ce long souterrain rectiligne de vingt kilomètres environ pour en faire une base géodésique. Cette idée a été accueillie avec faveur par la Commission géodésique d'abord et ensuite par notre savant compatriote, M. Guillaume, directeur adjoint du Bureau international des poids et mesures. Elle a trouvé enfin un concours très bienveillant auprès de la Direction des Chemins de fer fédéraux, ce qui était la condition essentielle de sa réalisation. Activement étudiés au cours de l'année 1905, les moyens d'exécution ont été préparés à Paris par M. Guillaume en ce qui concernait les appareils et par M. Rosenmund à Zurich pour les détails d'organisation. La mesure a heureusement abouti en mars 1906.

Les chances de succès reposaient sur une série de conditions favorables, contrebalancées d'autre part par un certain nombre d'inconvénients spéciaux. Jamais en effet, on

¹ La plus longue est la base mesurée en Bavière, dans le voisinage de Munich, par le colonel Bonne, du 25 août au 2 novembre 1801. Cette base, réduite au niveau de la mer, mesurait 21 653^m,75. (*Die bayerische Landesvermessung*, Munich 1873.)

² M. Riggenbach avait été mis, par M. P. Chappuis, membre honoraire du Bureau international des poids et mesures, au courant des perfectionnements apportés à la méthode de la mesure des bases par les fils.

n'aurait pu rêver, en Suisse, une ligne à mesurer plus droite et de pente plus uniforme que le tunnel du Simplon. Le sol en était solidement constitué, et les rails de la voie promettaient d'être fort utiles pour la mise en place des appareils, tout en fournissant une direction déjà presque parfaite. La galerie elle-même assurait les instruments et les observateurs contre les intempéries et les changements brusques de température. Enfin, les deux petits observatoires de Brigue et d'Iselle, qui avaient servi à la triangulation exécutée par M. Rosenmund et ensuite lors des vérifications périodiques de la direction de l'axe du tunnel au cours des travaux, constituaient d'excellents termes pour la base.

Les difficultés de l'entreprise résultaient, d'une part, de la nécessité de travailler constamment dans l'obscurité et de devoir utiliser un éclairage artificiel, toujours soumis à des causes de variation ; et d'autre part il fallait exécuter la mesure dans un minimum de temps. En effet, la Direction des Chemins de fer fédéraux avait, très gracieusement, mis le tunnel à la disposition de la Commission géodésique suisse pour une période de *cinq jours*, mais cinq jours seulement. C'était beaucoup pour les Chemins de fer, dont presque tous les travaux d'aménagement étaient ainsi arrêtés, mais c'était peu pour la Commission. Il fallait donc utiliser ces cent-vingt heures aussi complètement que possible, et, comme les forces humaines ont des limites, relever périodiquement le personnel auquel serait confié l'opération. On dut ainsi constituer trois équipes, aussi semblables que possible, qui se succédaient de huit en huit heures pour le travail. Il est évident que les chances d'incertitudes et d'erreurs se trouvaient ainsi multipliées, surtout au moment des changements d'équipes et aussi par le fait que pour ainsi dire tout le personnel était novice pour un travail de cette nature ; une attention de tous les instants était donc une condition absolue de la réussite espérée.

Au point de vue purement scientifique, l'entreprise de mesurer le tunnel du Simplon comme une base géodésique se justifiait pour les motifs suivants. La triangulation exécutée par M. Rosenmund pour établir la direction exacte du tunnel avait été basée sur les données de longueur fournies par la triangulation de la Suisse, spécialement par la base, relativement courte, de Bellinzone. Dans son très remarquable travail¹, M. Rosenmund avait tenu compte des déviations de la verticale par les masses visibles ; et les résultats de ses calculs avaient été confirmés d'une façon presque parfaite par les déterminations directes exécutées dans le massif du Simplon par la Commission géodésique au cours des années 1899 à 1905². Il devait donc être d'autant plus intéressant de fixer exactement la longueur du tunnel pour contrôler les données de cette triangu-

¹ *Spezial-Berichte der Direktion der Jura-Simplon-Bahn an das schweiz. Eisenbahndepartement über den Bau des Simplontunnels. Erster Teil, Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse.* bearbeitet von M. ROSENMUND, Ingenieur des eidg. topographischen Bureaus, Bern, 1901.

² *Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz*, (Fortsetzung der Publication : « Das schweizerische Dreiecknetz »), herausgegeben von der schweizerischen geodätischen Kommission, vol. X, Zürich, 1907.

lation. C'était aussi la première fois qu'une base, mesurée directement, traversait un massif montagneux. Mentionnons encore que la Commission avait fait déterminer la variation de la pesanteur par des observations de pendule dans une série de stations, soit à l'intérieur du tunnel, soit par dessus le col du Simplon. Les résultats de ces travaux paraîtront, avec les autres mesures de pendule dans le Valais, dans un volume ultérieur des publications de la Commission géodésique suisse.

Nous saisissons l'occasion qui nous est offerte ici, en rendant compte d'un des travaux exécutés dans le tunnel du Simplon, pour exprimer la vive gratitude de la Commission géodésique suisse à la Direction de l'Entreprise Brandt, Brandau et C^{ie}, à ses ingénieurs et à ses fonctionnaires divers, pour l'obligeance avec laquelle ils ont toujours, même dans les conjonctures les plus critiques, prêté leur concours aux déterminations scientifiques faites dans les galeries par l'ingénieur de la Commission. Au reste, la Direction de l'Entreprise du tunnel nous a conservé son appui pendant la mensuration de la galerie. Et ce qu'elle a fait pour la Commission, pendant et après la période de construction, la Direction des Chemins de fer fédéraux l'a continué pendant les derniers aménagements du tunnel. Sans son extrême bienveillance, la mesure dont nous allons rendre compte n'aurait pas pu avoir lieu, et nous sommes heureux de lui adresser ici l'expression de la profonde reconnaissance de la Commission géodésique suisse tout entière.

Rappelons enfin que la mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon a donné lieu, avant ce volume, aux quelques publications suivantes :

RAOUL GAUTIER, *Journal de Genève*, 2 avril 1906.

HENRI DE PARVILLE, *Journal des Débats* (Paris), 10 mai 1906.

R. GAUTIER, *Rapport à la Commission géodésique suisse*, procès-verbal de la séance du 12 mai 1906, p. 16.

M. ROSENMUND, *Verhandlungen der schweiz. naturforschenden Gesellschaft*, 89. Jahresversammlung, St. Gallen, 1906.

R. GAUTIER, *Quelques données sur la mesure, etc., communiquées à la quinzième Conférence de l'Association géodésique internationale à Budapest*, septembre 1906. Genève 1906; puis *Comptes rendus de la Conférence*, Leyde 1908, Vol. I, p. 143.

INZ. WIKTOR-ARLET, *Czasopismo technicznego* (technische Zeitschrift), Lemberg, 1906.

Ing. M. GENSBAUR, *Zeitschrift des österreich. Ingenieur- u. Architekten-Vereins*. Vienne, 1906 et 1907.

R. GAUTIER, *Le Globe*, organe de la Société de géographie de Genève, vol. 46, p. 138.

Ch.-Éd. GUILLAUME, *La Nature, Revue des sciences*, Masson & C^{ie}, Paris, n° du 6 juillet 1907, 35^e année, p. 87.

R. GAUTIER, *Comptes rendus de la quatrième Conférence générale des poids et mesures*, p. 77, Paris 1907.

M. ROSENMUND, *Schweizerische Bauzeitung*, Vol. 51, n° 11, p. 131, Zurich, 1908.

CHAPITRE II

LES INSTRUMENTS ET LEUR EMPLOI

1. — Description des instruments.

Les instruments dont nous avons fait usage pour les mesures de longueur ont été construits par M. J. Carpentier à Paris, conformément aux modèles établis par MM. Benoît et Guillaume. Ils se composent du matériel normal pour la mesure des bases, recommandé par le Bureau international des poids et mesures, et de quelques accessoires spécialement prévus pour l'utilisation des voies ferrées et pour le travail à la lumière artificielle. Nous allons en donner une description sommaire.

Fils. — La presque totalité de la mesure a été effectuée au moyen de fils de la longueur normale de 24 mètres, déjà adoptée par M. Jäderin, et qui a été généralement conservée. Les appoints ont été mesurés à l'aide d'un fil de 8 mètres et d'un ruban de 4 mètres. De plus, la première section de la base, commençant sur le flanc nord de la vallée du Rhône pour se terminer à l'entrée du tunnel, il était nécessaire de faire une portée à travers le Rhône, ce qui nous a conduits à employer un fil de 72 mètres.



FIG. 1.

Tous ces fils sont du modèle établi par MM. Benoît et Guillaume, à réglettes échan-crées (fig. 1), de manière à amener l'extrémité des traits dans le prolongement de l'axe du fil. On peut, grâce à ce dispositif, donner aux réglettes un azimut quelconque sans qu'il en résulte de différences appréciables dans la distance rectiligne de deux traits homologues des réglettes.

Trois de ces fils de 24 mètres ont été construits par M. Démichel à Paris ; ils portent les numéros A_{31} , A_{32} , A_{33} ; leurs réglettes sont relativement lourdes ; de plus, en raison d'un léger défaut de construction, elles ne sont pas exactement parallèles entre elles. Deux autres fils, portant les numéros 98 et 99, ont été construits par M. Carpentier ; leur construction est plus parfaite que celle des précédents ; nous les avons destinés à la mesure proprement dite, tandis que les trois autres ont été réservés au contrôle ou au remplacement, dans le cas d'accidents qui eussent mis les deux premiers hors de service.

Enfin, un autre fil construit par M. Carpentier, le numéro 64, avait été mis à la disposition de la Commission pour les exercices préliminaires à Zurich et à Viège. Il a servi à la mesure de la base de Viège et d'une portée de la base du Simplon près de l'observatoire de Brigue.

Par suite d'une erreur dans les livraisons faites par les aciéries d'Imphy, les fils portant les numéros 64, 98 et 99 se sont trouvés avoir une dilatation un peu plus forte que celle de l'invar de première qualité. Leur formule de dilatation est en effet

$$\alpha = (+ 0,793 + 0,00016 t) \cdot 10^{-6}$$

La régularité de variation de la température dans le tunnel rendait sans importance cette dilatation, qui, d'ailleurs, est encore environ quatorze fois plus faible que celle de l'acier. Le fil de 8 mètres (n° 83), et le fil de 72 mètres (n° 100) sont de la même livraison. Quant aux fils A_{31} , A_{32} , A_{33} , ils sont d'une opération métallurgique particulièrement réussie, puisque leur dilatation est exprimée par la formule

$$\alpha = (+ 0,028 - 0,00232 t) \cdot 10^{-6}$$

On trouvera, dans le chapitre VI, le détail des épreuves auxquelles ces fils ont été soumis tant au Bureau international, avant et après nos mesures, qu'à Brigue entre nos diverses opérations.

Pour l'indication des résultats généraux auxquels a conduit l'étude systématique des fils d'invar, nous renverrons à la publication de MM. Benoit et Guillaume, bien connue des géodésiens : « *La mesure rapide des bases géodésiques*¹, » à laquelle nous ferons, dans ce qui suit, plusieurs emprunts.

Repères mobiles. — Les repères mobiles fixent momentanément les extrémités d'une portée de la base pendant la mesure ; ceux dont nous avons fait usage sont constitués par de solides trépieds, dont les montants sont reliés par un fort triangle de bois A (fig. 2) pourvu d'une large ouverture centrale. Une plaque-crapaudine montée sur un tube B , et qu'un écrou à oreilles C permet de serrer contre le triangle, porte, par l'intermédiaire de trois vis calantes, un disque de bronze D , muni à la périphérie de

¹ Paris, Gauthier-Villars ; 4^{me} édition, 1908.

trois vis radiales servant à déplacer, d'un mouvement micrométrique, une pièce *E* que surmonte le repère proprement dit. L'embase de cette dernière pièce porte un niveau. Latéralement, le disque est muni d'une tige conique, qui peut recevoir soit une mire *F* (fig. 2), soit une lunette de nivellement *G* (fig. 3).

Un fil à plomb, suspendu dans l'axe de la pièce *E*, peut marquer un point du sol situé verticalement au-dessous du repère. Quand il est sans emploi, le poids du fil à plomb est vissé dans le tube.

La lunette de nivellement est pourvue d'un niveau sensible. Elle porte, au foyer de l'objectif conjugué à 24 mètres, une échelle photographique dont les intervalles exprimés en valeur de la tangente, sont des millièmes absolus. La lecture faite sur l'échelle,

FIG. 2 bis.

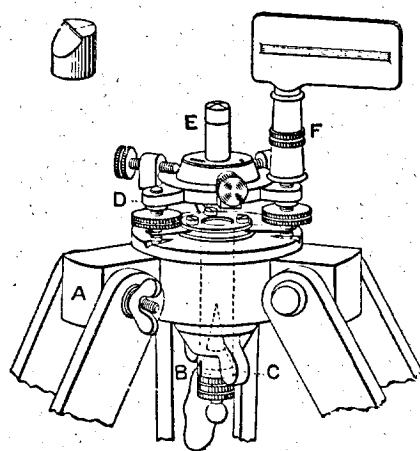


FIG. 2.

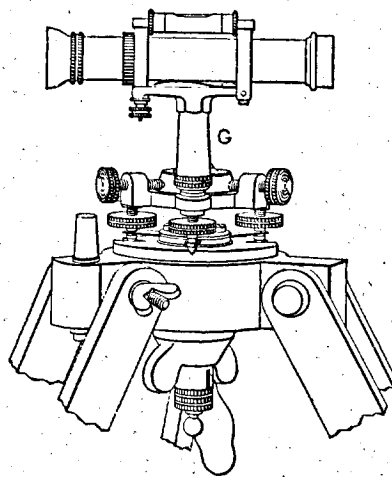


FIG. 3.

corrigée des erreurs de division et de collimation, donne directement la pente de la portée mesurée. L'erreur de collimation est d'ailleurs éliminée par des observations faites dans les deux sens pour chaque portée.

Pour l'alignement, on place, sur le goujon mobile portant le repère, une petite lunette de Galilée, qui sert à viser simultanément le goujon du repère que l'on met en place, et une mire lointaine préalablement réglée à l'aide d'un théodolite.

Des expériences préliminaires ayant montré qu'il serait très avantageux d'utiliser directement les rails pour la pose des repères, chacun de ceux-ci était accompagné, dans le travail sur la voie, d'une paire de crapaudines (fig. 4 et 5), constituées par de solides étriers de fonte, réunis par un câble toronné, et munis de vis de serrage permettant de les fixer sur les rails. Le câble, complètement étendu, fixait la distance des crapaudines de manière à ce que la plateforme supérieure du trépied fût d'elle-même placée horizontalement d'avant en arrière.

Sur le troisième pied était chaussé une sorte de patin s'appuyant sur le contre-rail. Le niveau de la pièce *E* (fig. 2) étant orienté de droite à gauche, on l'amenait à l'horizontale par un mouvement du troisième pied, qui se trouvait mis en place par cette condition.

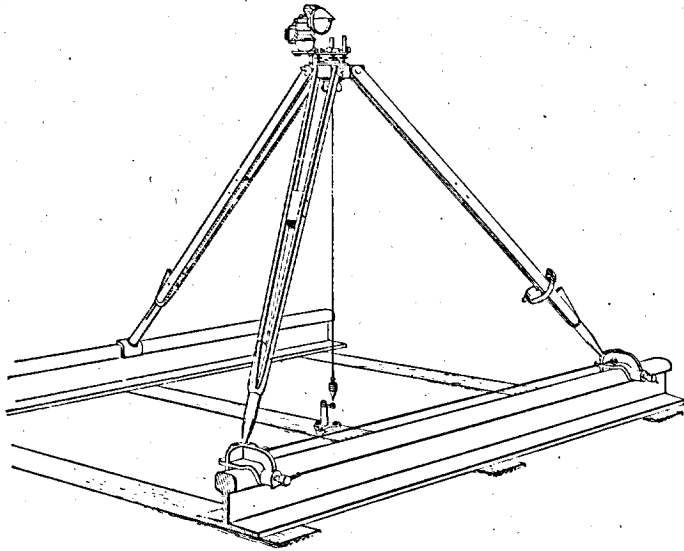


FIG. 4.

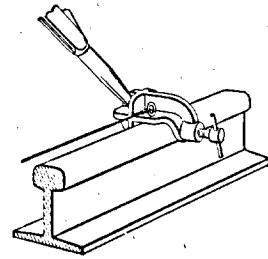


FIG. 5.

Le travail dans l'obscurité nécessitait un éclairage artificiel de la tête des repères. Dans ce but, chaque trépied était porteur d'une lanterne à acétylène, dont l'embase était encastrée dans un support spécial, monté sur le goujon de repos de la mire (fig. 6).

Quant aux repères eux-mêmes, ils étaient de la forme dite à pan coupé (fig. 2 bis et 6), étudiée pour la première fois au Bureau international en vue de la mesure de notre base, et qui permet d'amener la face divisée de la règle dans le plan portant le trait du repère. Cette disposition facilite énormément les observations à la lumière artificielle, et présente aussi, à la lumière naturelle, de sérieux avantages sur les repères anciens, circulaires, avec surface légèrement sphérique marquée de deux traits en croix.

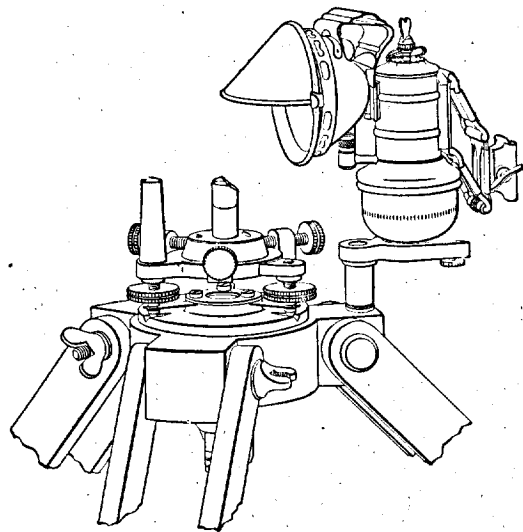


FIG. 6.

Piquets-tenseurs. — Les fils sont soumis, dans les mesures, à un effort de tension de 10 kilogrammes, à l'aide de poids suspendus à des cordes passant sur des poulies à billes, que supportent de solides piquets de bois, étayés par des jambes de force. L'appareil est construit de telle sorte que les piquets, lorsqu'ils sont en station, sont inclinés d'environ 45 degrés sur l'horizon, de manière à supporter en bout la résultante des efforts de la corde. Lorsqu'ils sont sans emploi, et en particulier dans le transport d'une portée à l'autre, les poids sont fixés dans des encastrement, et arrêtés par des goupilles. La fig. 7 montre un piquet-tenseur en station. La fig. 8 en fait voir le détail, dans une opération à laquelle ils servent accessoirement, celle de l'enroulage et du déroulage des fils, dont il sera question dans le paragraphe suivant. Lors de leur emploi dans le tunnel, les piquets-tenseurs portaient, eux aussi, une lampe à acétylène fixée au-dessus de la poulie.

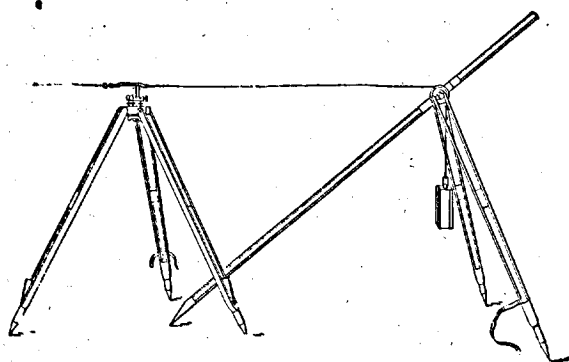


FIG. 7.

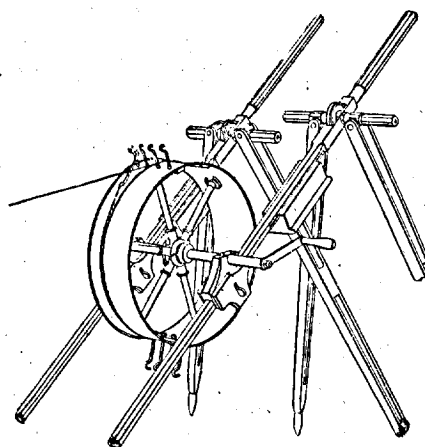


FIG. 8.

Tambours d'enroulage des fils. — Pour le transport, les fils sont enroulés sur un diamètre de 50 cm., reconnu suffisant pour assurer la permanence de leur longueur. On peut, dans ce but, les ramener librement en une couronne, les ficeler et les emballer dans une caisse à l'intérieur de laquelle ils sont attachés à une planchette immobilisée par des taquets. C'est ainsi que plusieurs de nos fils nous ont été apportés de Sèvres à Brigue par les soins de M. Guillaume. Mais l'enroulage et le déroulage des fils libres constitue une opération délicate et dangereuse lorsqu'on n'en a pas une très grande habitude. Cette opération ayant été faite, les deux ou trois fois où elle a été nécessaire à Brigue, par MM. Guillaume et Maudet, il n'en est résulté aucun inconvénient pour la conservation de nos fils. Pour le reste du travail, les fils principaux, n° 98 et n° 99 ont été enroulés sur un tambour d'aluminium (fig. 8), muni de crochets à sa périphérie, et sur lequel peuvent trouver place quatre fils de 24 mètres.

Des paliers démontables, que l'on fixe sur les piquets-tenseurs, servent à supporter l'axe du tambour pendant l'enroulage et le déroulage.

Le fil de 72 mètres, dont la manipulation est beaucoup plus difficile que celle des fils courts, a été apporté roulé sur un tambour, et n'a été déroulé et enroulé qu'à l'aide de ce dernier.

Termes de la base, repères fixes et repères de contrôle. — Le mode de placement des trépieds sur la voie excentre nécessairement les repères, que l'on ne ramènerait au milieu de l'intervalle des rails qu'au prix de grosses complications dans des appareils destinés aussi à servir sur le terrain. Les dispositions adoptées entraînaient un excen-trage de 24 cm. environ par rapport à l'axe du tunnel ; et, comme tous les repères utili-sés pour les opérations d'alignement du tunnel avaient été primitivement placés dans l'axe, il devenait nécessaire de les doubler par des repères situés dans la ligne de la mesure.

Rappelons tout d'abord quels étaient les repères qui avaient servi aux opérations de M. Rosenmund pour déterminer la direction, la longueur, etc., du tunnel ; en voici la liste :

1. Le signal du point nord de l'axe, au sud de la route de Brigue à la Furka, sur la rive droite du Rhône à environ 315 mètres de l'entrée de la galerie de direction nord.

2. Un repère en bronze fixé sur un socle de béton enterré et placé sur la rive gauche du Rhône à 25 mètres de cette même entrée.

3. Un repère en bronze à la sortie de la galerie de direction sud, sur la rive gauche de la Diveria.

4. Le signal du point sud de l'axe, sur la rive droite de la Diveria.

Pour la vérification de l'axe du tunnel, les signaux 1 et 4 ont été remplacés ulté-rieurement par :

5. L'observatoire de Brigue situé au nord de la route de la Furka à 32 mètres envi-ron du signal du point nord.

6. L'observatoire d'Iselle situé à 22 mètres au sud du signal du point sud. Le signal du point sud (4) a disparu dans les aménagements de la sortie du tunnel.

Nous numérotions les *repères fixes* de la base du Simplon par des chiffres romains. Pour les repères III et IV qui se substituaient aux anciens repères 2 et 3, on a fixé dans un bloc de béton (repère III) ou dans le rocher (repère IV), un peu en contre-bas de l'affleurement, de solides cylindres de bronze, surmontés de plaques serties d'un alliage dur et inoxydable, munies de traits en croix. Les repères, fixés au ciment, sont recou-verts, en temps ordinaire, de capsules vissées, qui les protègent contre les détériora-tions. Ils sont en plus surmontés d'une couche de terre de 30 à 40 cm..

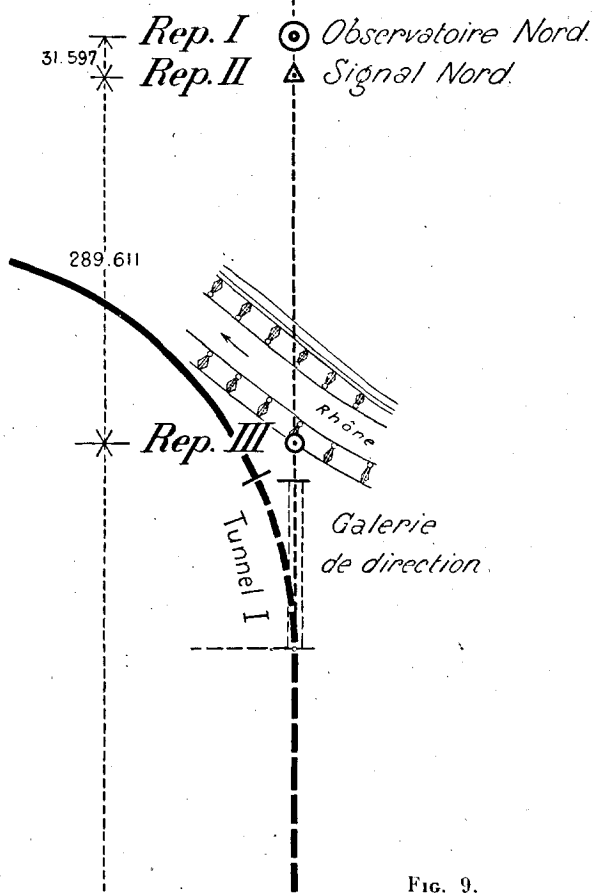


FIG. 9.

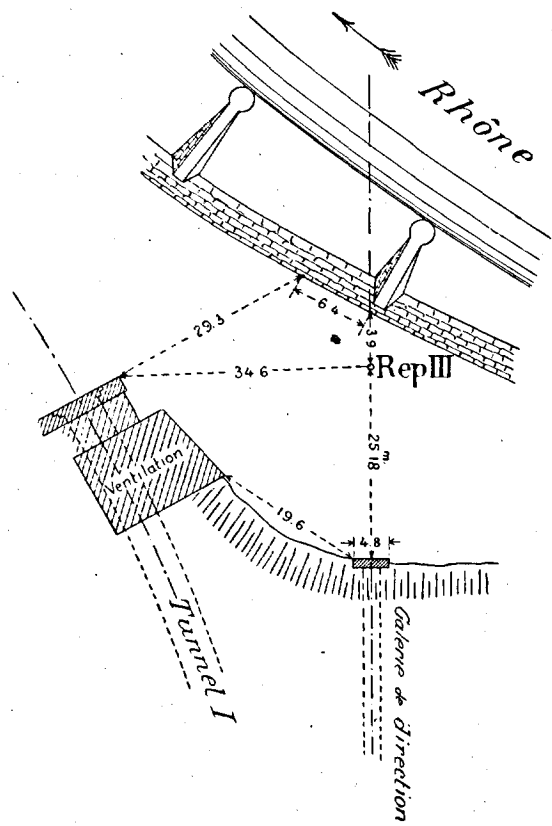


FIG. 10.

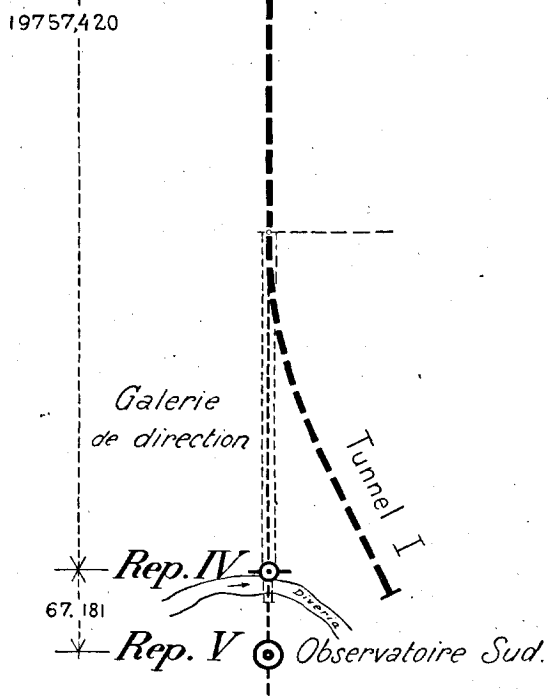


FIG. 11.

Rep. V ⊙ Observatoire Sud.

La fig. 9 donne, à une échelle voisine du $\frac{1}{6000}$, le plan général des entrées nord et sud du tunnel, où sont figurés les emplacements de tous les repères fixes. La position des repères n^{os} III et IV est fournie plus en détail dans les croquis de situation des fig. 10, 11 et 12. Ce dernier donne en *A* le repère 3 indiqué plus haut et en *B* le repère n^o IV.

Les repères fixes n^{os} I, II et V, substitués aux anciens repères désignés plus haut par les n^{os} 5, 1 et 6, sont placés sur les piliers correspondants. Ils sont constitués par

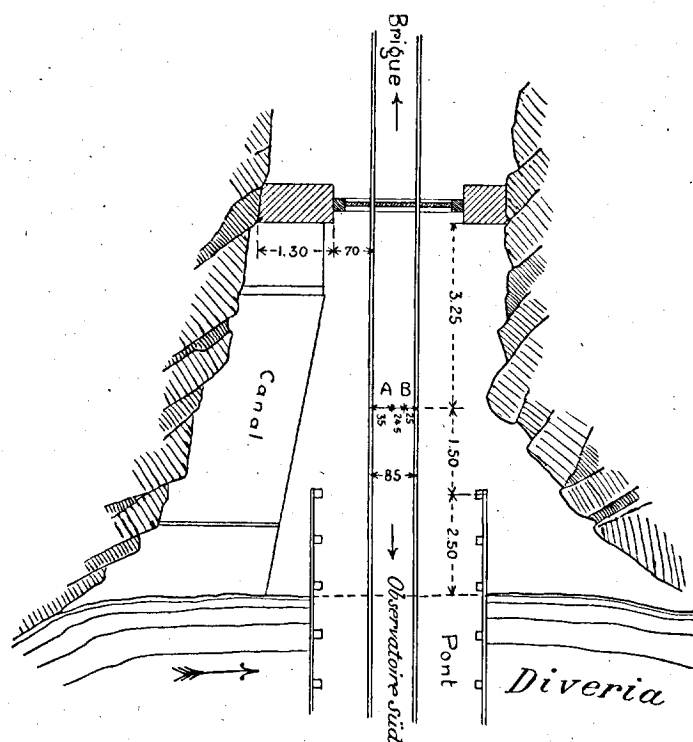


FIG. 12.

des équerres de bronze, appliquées contre la surface latérale des piliers, et qui portent des goujons en saillie verticale, pourvus de traits en croix, dans la direction de la base et dans le sens perpendiculaire (fig. 13 et 14). La fig. 13 correspond aux repères n^{os} I et V fixés sur les piliers des observatoires de Brigue et d'Iselle. La fig. 14 correspond au repère n^o II fixé contre le pilier du signal du point nord de l'axe. Tous ces repères fixes ont été mis en place par M. le D^r Niethammer, ingénieur de la Commission géodésique suisse, en février 1906. Les fig. 17 et 18 de la planche I reproduisent des photographies des deux observatoires de Brigue et d'Iselle faites pendant la construction du tunnel.

La base étant très longue, il avait été décidé de la sectionner, en plaçant de 100 en 100 portées, un *repère de contrôle* dans le terrain. La fixation de ces repères dans le ballast aurait entraîné de grosses difficultés. Mais heureusement, les traverses du tunnel

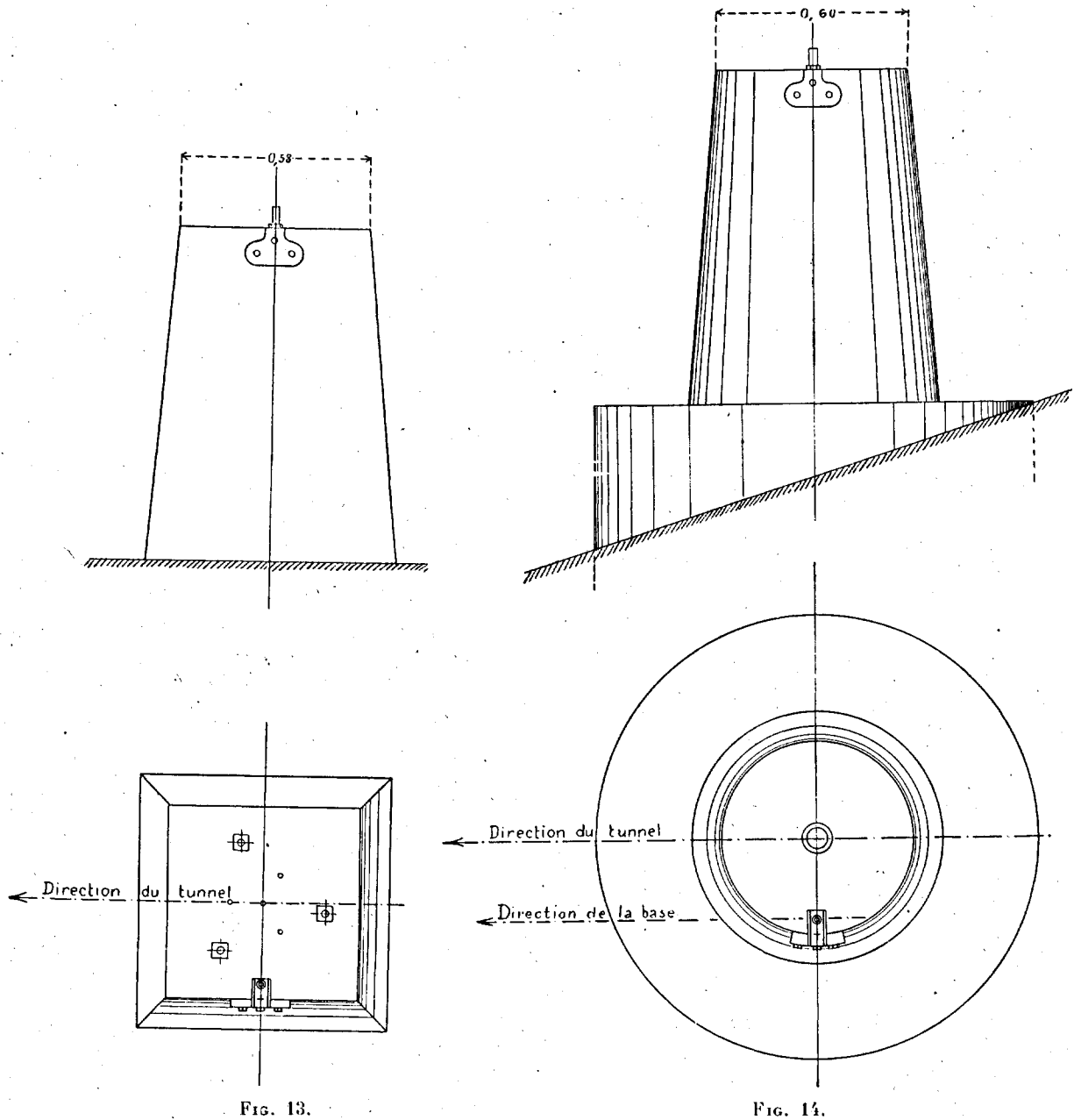


FIG. 13.

FIG. 14.

du Simplon étant en bois, nous pouvions nous en servir pour placer ces points intermédiaires, dont l'importance est multiple.

D'abord, si, comme cela eût pu se produire, on avait été conduit à soupçonner un

déplacement accidentel simultané de tous les repères mobiles en station, il eût suffi de retourner au dernier repère de contrôle pour partir d'un point de position connue. Ensuite, si, après avoir fait le calcul de la base, on avait trouvé une grosse divergence, on aurait pu la localiser immédiatement, et remesurer au besoin une section dans l'intervalle du passage des trains, avant la mise en exploitation de la ligne. Enfin, la comparaison des résultats obtenus pour chacune des sections fournit une indication multiple de la précision de la mesure, par la concordance des résultats partiels.

Les repères que nous avons employés sont de deux sortes, et ont été prévus pour les deux cas possibles, où les points se trouvaient *sur une* traverse ou *entre deux* traverses consécutives.

Les premiers de ces repères se composent (fig. 15), d'un triangle surmonté d'un cône venu de fonte, et portant, à son sommet, un bras mobile que l'on peut fixer dans une position quelconque par une vis de serrage. Le bras porte, à son extrémité, une pas-



FIG. 15.

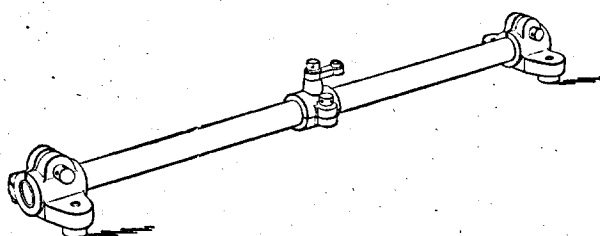


FIG. 16.

seille de métal blanc avec deux traits en croix. Entre la vis et le bras est interposée une douille avec un ergot, empêchant le bras de tourner lorsqu'on serre la vis. Le triangle de base est percé, près des sommets, de trois trous servant au passage de tire-fonds pour le fixage de la pièce sur les traverses.

Dans les repères du deuxième genre (fig. 16), le bras mobile est monté sur un anneau, serré sur un tube d'acier porté lui-même par deux semelles que l'on peut fixer sur les traverses. Le bras peut ainsi venir occuper une position quelconque entre deux traverses consécutives. — On voit, dans la fig. 4, (p. 9.), le mode d'emploi des repères de contrôle, tel que nous l'avons adopté. — Dans les intervalles entre les mesures sur ces repères de contrôle, on les recouvrait de couvercles constitués par une pièce semi-cylindrique en tôle que l'on vissait solidement sur les traverses de la voie.

Gabarit. — Un câble toronné portant deux bagues, fixes ou amovibles, sert à déterminer approximativement la distance des repères mobiles pendant l'opération de la pose. Il est accompagné de deux bâtons qui servent aux opérateurs à prendre appui contre le sol pour exercer l'effort de tension nécessaire.

2. — Emploi des instruments.

Les opérations sur le terrain sont effectuées par deux groupes travaillant indépendamment l'un de l'autre. Le premier s'occupe uniquement de la pose correcte des repères mobiles, le second fait toutes les mesures. Éventuellement, un troisième groupe, ou un observateur isolé, peut être chargé de la mesure des pentes.

Le travail du premier groupe, ou *groupe de pose des repères mobiles*, commence aussitôt qu'un repère mobile est approximativement placé sur l'un des termes de la base¹. Le chef se place alors à l'arrière du trépied n° 1 et, saisissant une des extrémités du gabarit en câble toronné qu'un aide tient à l'autre bout, il le tend avec force, en s'aidant d'un bâton appuyé contre le sol et commande — *Distance!* — puis, ayant amené la bague arrière du gabarit contre le repère, il annonce — *Zéro!* — Un deuxième aide amène le repère n° 2 contre la marque avant du gabarit, et indique à son tour — *Zéro!* — Le chef commande alors — *Alignement!* — Ayant placé la petite lunette sur le repère n° 1, il vise et donne les indications des mouvements à effectuer pour amener l'image du repère n° 2 en coïncidence avec celle d'une mire lointaine.

Cela fait, il commande de nouveau — *Distance!* — puis — *Alignement!* — en répétant les deux opérations alternativement jusqu'à ce que le dernier déplacement effectué soit assez petit pour ne pas déranger sensiblement le trépied dans l'autre direction.

Pour finir, l'aide rectifie le nivellement de la plateforme, que, d'ailleurs, le chef vérifie pendant la pose du trépied suivant.

Tandis que se poursuit la pose, le deuxième groupe, ou *groupe de mesure*, achève de placer le premier trépied. Le fil à plomb, bien protégé du vent et observé à l'aide d'une lunette, décrit une très petite ellipse autour de la croisée de traits marquant le terme de la base. Les mouvements micrométriques des vis radiales servent à amener cette ellipse à être bien symétrique par rapport au point de croisement des traits. À ce moment seulement, les mesures peuvent commencer.

Sur une voie ferrée bien droite, la pose des trépieds se trouve considérablement simplifiée par le fait que les opérateurs du premier groupe n'ont pas à se préoccuper de l'alignement. Celui de la voie est accepté tel qu'il est, et un groupe indépendant² le vérifie, afin de permettre de ramener toutes les mesures à un même plan vertical

¹ Lorsque le terme en question est porté par un pilier, cette première opération est supprimée.

² Voir plus loin, p. 18 et 28.

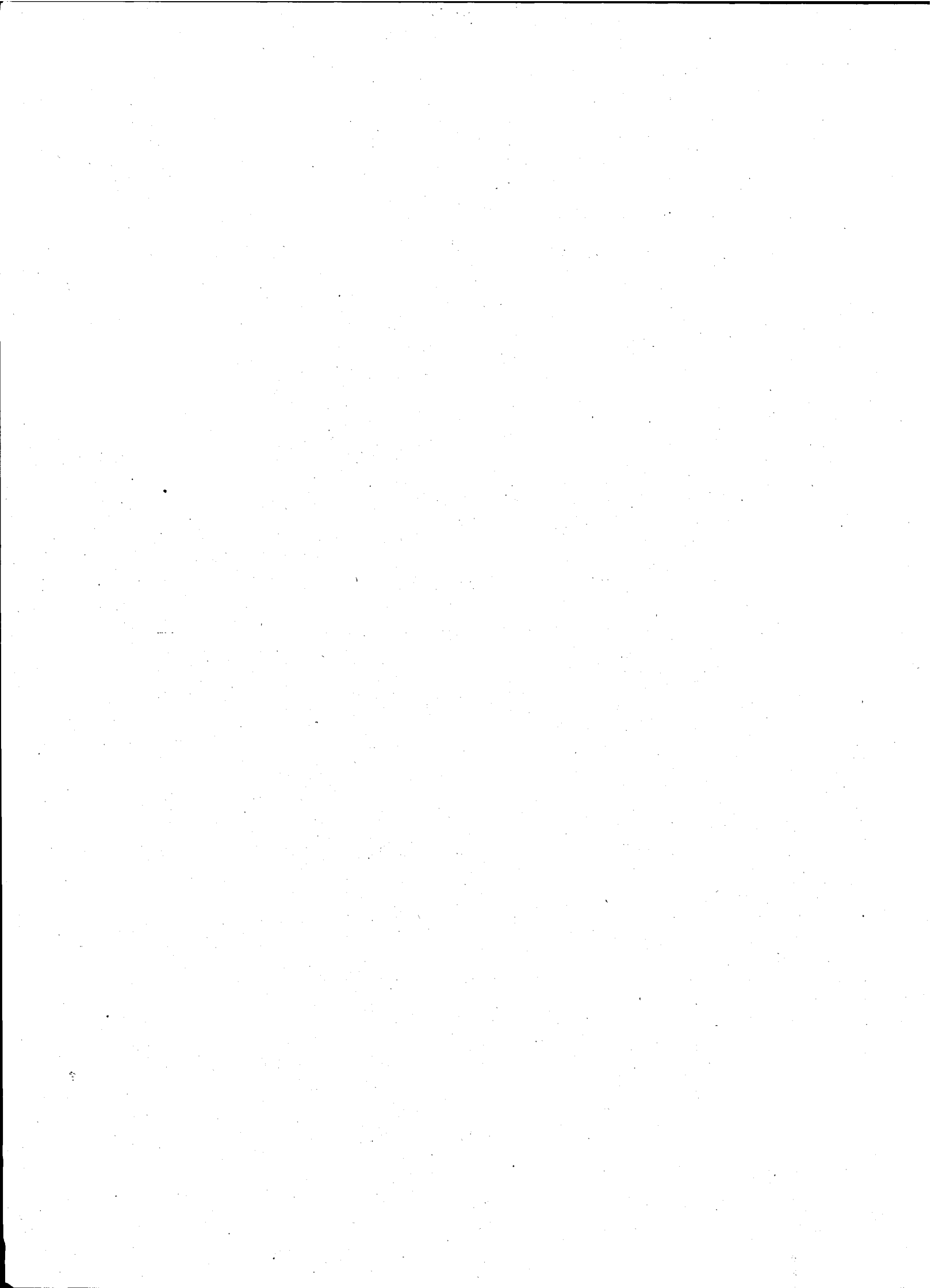
LES OBSERVATOIRES DE BRIGUE ET D'ISELLE
TERMES DE LA BASE



FIG. 17. — Observatoire de Brigue, vu du sud-est.



FIG. 18. — Observatoire d'Iselle, vu de l'est.



passant par les termes de la base. Les corrections résultant des défauts d'alignement d'une voie bien établie sont nécessairement très petites.

Quant à la distance, on peut aussi se dispenser de la mesurer pendant la pose des trépieds. Il suffit, pour cela, de faire, sur le côté du rail directeur, des marques à la peinture blanche, qui indiquent la position de l'une des crapaudines, par exemple celle d'arrière. Ce travail indépendant a le grand avantage d'utiliser successivement une partie du même personnel, plutôt que d'accumuler simultanément sur le terrain un personnel nombreux qui suffise à la fois à toutes les opérations.

Dans le tunnel du Simplon, la mesure de la distance se simplifiait du fait que les rails ont une longueur de 12 mètres, égale à la demi-longueur de nos fils, de telle sorte que, pour la plus grande partie du tunnel, les marques ont pu être placées exactement au bout des rails, de deux en deux. C'est seulement entre les deux aiguilles du croisement de la voie vers le milieu du tunnel, que l'on a été obligé de mesurer les distances.

Dans l'un ou l'autre cas, un certain nombre de trépieds étant posés, le deuxième groupe commence les mesures. Lorsque le fil a été déroulé, les observateurs s'en saisissent, en le prenant par ses porte-mousquetons, et se placent en face des deux premiers trépieds. Deux assistants amènent les piquets-tenseurs dans l'alignement de la base et tendent les cordes aux observateurs. Ceux-ci, les ayant accrochées aux porte-mousquetons, par l'intermédiaire des crochets en S qui les terminent, annoncent — *Prêt!* — au chef du groupe et de l'équipe tout entière, qui fonctionne en même temps comme secrétaire. Ce dernier donne alors les commandements espacés : — *Attention!* — *Poids!* — *Lâchez!* — auxquels les aides détachent les poids des piquets-tenseurs, et les laissent descendre lentement. L'alignement des piquets ayant été rectifié, de manière à amener les réglottes aussi près que possible des repères, les observateurs en avisent le secrétaire, qui donne aussitôt l'ordre : — *Lecture!*

Les lectures sont faites dans l'ordre suivant : l'observateur de droite, ayant estimé la position du repère par rapport à la division de la réglotte, annonce — *Prêt!* — Celui de gauche indique sa lecture ; l'observateur de droite fait de même ; puis, le fil ayant été déplacé longitudinalement d'une quantité quelconque, la même opération est répétée, et ainsi de suite, cinq fois.

Le secrétaire inscrit les lectures et fait immédiatement les différences. Si ces dernières sont bien concordantes (à $\pm 0^{\text{mm}},3$ près au maximum), il interrompt l'opération.

Les poids sont fixés de nouveau aux piquets aux commandements : — *Attention!* — *Poids!* — *Goupille!* — tandis que les observateurs reprennent les porte-mousquetons et soulèvent les fils de manière à empêcher les réglottes de buter contre les repères. Les cordes ayant été séparées des fils, tout le groupe repart vers la nouvelle portée, après le commandement du chef : — *En avant!* —

Dans la règle, tous les commandements doivent être donnés par le secrétaire. Toutefois, il peut en confier une partie à l'observateur d'avant. — Les observateurs doivent échanger périodiquement leurs places, par exemple de dix en dix portées, afin d'éliminer leur équation personnelle relative, sur un ensemble de vingt portées. — Lorsque les opérations ont lieu dans l'obscurité, le secrétaire doit supporter le fil par le milieu, dans les transports d'une portée à l'autre.

Pentes. — Les pentes sont mesurées, à l'aide de la lunette précédemment décrite, par une simple visée des mires portées par les repères voisins. Leur détermination peut être faite soit par le secrétaire, soit par l'observateur d'avant, soit par le chef du premier groupe, soit enfin par un observateur indépendant. Les circonstances des mesures, le nombre d'opérateurs dont on dispose, les difficultés rencontrées par l'un ou l'autre groupe décident, dans chaque cas, de l'attribution de cette mesure, qui doit être faite de manière à retarder le moins possible l'ensemble du travail.

C'est dans la mesure des pentes que les difficultés de l'éclairage rendent les opérations dans l'obscurité plus particulièrement pénibles. La voie du Simplon ayant été, heureusement, très bien établie au point de vue de la régularité de sa pente, nous avons pu nous borner à mesurer cette pente dans la partie centrale, dans laquelle les deux versants se rencontrent.

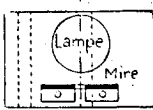
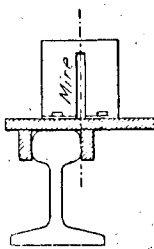


FIG. 19.

Alignement. — Pour la vérification de l'alignement de la voie dans le tunnel, on s'est servi d'un théodolite et de deux mires transparentes. L'une d'elles (fig. 19), placée en arrière de la station du théodolite, avait la forme d'une fente verticale; l'autre (fig. 20), placée en avant, était constituée par une échelle horizontale divisée en centimètres, dont le zéro correspondait, comme la fente de la première, au bord interne du rail.

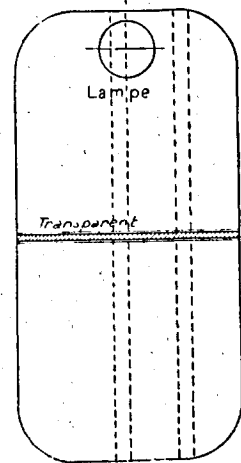
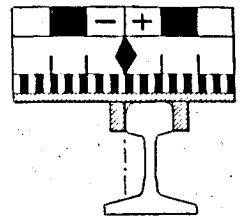


FIG. 20.

On trouvera plus loin tous les détails relatifs à cette vérification, comme aussi d'une façon générale à la série des opérations telles que nous les avons effectuées.

CHAPITRE III

ORGANISATION DE LA MESURE

1. — Dispositions préliminaires.

Pour mesurer la base du tunnel du Simplon, la Commission géodésique suisse avait dû choisir le court espace de temps compris entre l'achèvement de la construction et l'ouverture de la ligne à l'exploitation régulière. Malgré les grands efforts nécessaires pour terminer les installations exigées par la traction électrique au mois de mai 1906, la Direction générale des Chemins de fer fédéraux, et plus spécialement celle du premier arrondissement, de laquelle dépendaient les travaux, avaient eu la grande obligeance de mettre le tunnel à la disposition de la Commission, du 18 mars à 6 heures du matin, jusqu'au 23 mars à la même heure, soit pour cinq jours et cinq nuits.

Pour pouvoir accomplir, durant cette période, la tâche proposée, et pour mesurer, à l'aller et au retour, au moyen de fils, les 20 kilomètres du tunnel, il était nécessaire que la mesure se fit d'une manière continue, jour et nuit, d'un bout à l'autre. En formant trois équipes qui se succédaient de huit en huit heures, nous espérions effectuer une première mensuration, de l'entrée de la galerie de direction nord jusqu'à l'observatoire sud, en deux jours et deux nuits environ. Après un jour de repos, nous comptons un temps égal, ou peut-être encore plus court, pour la mesure de retour. La mesure de la section restante, entre la porte nord et l'observatoire nord, soit entre les repères principaux n° III et n° I pouvait être effectuée, aller et retour, plus tard à loisir, sans gêner les travaux d'installation dans le tunnel.

Chacune des équipes était placée sous la direction d'un membre de la Commission géodésique suisse, fonctionnant comme secrétaire; elle se composait en outre de deux ingénieurs chargés des lectures aux extrémités du fil, de trois aspirants ingénieurs de l'École polytechnique fédérale, dont l'un remplissait les fonctions de chef du groupe

de pose des repères mobiles, tandis que les deux autres plaçaient et transportaient les piquets-tenseurs, d'un lampiste pour entretenir les lampes, et de treize ouvriers.

La Commission disposait de dix repères mobiles, dont quatre avaient été gracieusement mis à sa disposition par le Bureau international des poids et mesures, tandis que les six autres appartiennent au matériel acquis par elle. Pour éviter toute circulation de l'avant à l'arrière pendant la mensuration dans le tunnel, chaque repère mobile devait avoir son porteur. Trois ouvriers de l'équipe restaient à la disposition du secrétaire, du chef du groupe de pose et du lampiste. La direction des travaux de construction du tunnel du Simplon fournissait les ouvriers ; elle les plaçait, par équipes, sous les ordres d'un surveillant, ce qui augmentait chaque équipe d'un homme qui a, du reste, rendu les meilleurs services.

Outre ces trois équipes destinées à la mesure proprement dite de la base, on a formé, pour le contrôle de l'alignement de la voie, deux groupes, placés chacun sous les ordres d'un ingénieur et comprenant tous deux un assistant (polytechnicien) et trois ouvriers. On a reconnu en effet que ces précautions n'étaient pas superflues, la voie, posée suivant les pieds-droits de la voûte, présentant par endroits de petites déviations par rapport au plan vertical moyen. La correction qui en est résultée est d'ailleurs très petite, comme on le verra plus loin.

La direction générale de la mesure était confiée à M. Guillaume, directeur-adjoint du Bureau international des poids et mesures ; à part lui et M. Maudet, attaché au même Bureau et qui l'avait accompagné en Suisse, aucun des participants n'avait eu l'occasion de manipuler les appareils pour mesurer des bases au moyen de fils d'invar antérieurement à l'année 1906.

Il était donc absolument nécessaire de faire quelques exercices préliminaires avant de commencer la mensuration proprement dite. Dans ce but, chaque équipe avait été convoquée deux ou trois jours d'avance à Viège. Durant une après-midi, elle devait apprendre le maniement des appareils sous la direction personnelle et dévouée de M. Guillaume, et, la nuit suivante, elle avait à mesurer la longueur d'une section droite d'un kilomètre environ sur la voie du chemin de fer entre Viège et Rarogne. Les extrémités de cette ligne avaient été marquées au ciseau à froid sur deux traverses en fer. La Direction du premier arrondissement des Chemins de fer fédéraux avait eu l'obligeance de nous accorder aussi pour ce travail le libre parcours de la ligne, après le passage du dernier train à 11 heures du soir, jusqu'au moment du passage du premier train du jour suivant, vers 6 heures du matin, et cela pendant trois nuits consécutives.

Le matériel comprenait les appareils de mesure fournis à la Commission géodésique suisse par M. Carpentier, quelques accessoires très obligeamment prêtés par le Bureau international des poids et mesures, ainsi que tous les outils divers nécessaires aux opé-

rations pour le placement des repères de contrôle, pour les réparations des lampes et des appareils, les pièces de réserve, etc. Tous ces outils devaient être chargés sur un wagonnet et suivre de près les équipes.

Toutes les dispositions prises avaient été communiquées aux participants, principalement aux ingénieurs et aux assistants. Il avait fallu rédiger un programme et un règlement précis. Pour obtenir des indications pratiques, avant cette rédaction, on avait improvisé, le 22 février 1906, un premier essai de mesure après que les appareils, venus de Paris, étaient arrivés à Zurich, et avant leur transport à Brigue. Une partie du personnel prévu pour la mesure de la base du Simplon assistait à cet essai, qui eut lieu le long d'une section de voie hors de service à la gare des marchandises de Zurich, que la Direction du troisième arrondissement des Chemins de fer fédéraux avait bien voulu mettre à la disposition de la Commission.

Le programme et le règlement imprimés et mis entre les mains de tous les ingénieurs, polytechniciens et lampistes, avant leur arrivée sur le terrain des opérations, avaient été arrêtés comme suit par M. Rosenmund, et imprimés dans les deux langues ¹.

¹ Nous n'en donnons ici que le texte français. — Ajoutons à ce propos que, pour tenir compte de la difficulté de la dictée des chiffres en allemand et en français, en vue de l'inscription dans les carnets, deux des équipes (I et III) étaient composées d'un personnel parlant l'allemand, et la troisième (II) d'un personnel parlant le français.

2. — Programme pour la mensuration de la base géodésique
du tunnel du Simplon.

A. — PERSONNEL.

Direction générale : Guillaume.

	ÉQUIPE I	ÉQUIPE II	ÉQUIPE III
Groupes de la mesure			
GROUPE I.			
<i>Pose</i>			
<i>des repères mobiles.</i>			
Chef.	Cand. ing. Gensbaur	Cand. ing. Rougeot	Cand. ing. Arlet
Ouvriers N ^{os} 1 à 10			
GROUPE II.			
<i>Mesure.</i>			
Secrétaire. - Chef de			
l'équipe	Rosenmund	R. Gautier	Riggenbach
1 ^{er} Observateur	E. Müller	Maudet	Niethammer
(Chef du groupe)			
2 ^{me} Observateur	Weber	Mouttet	Knapp
1 ^{er} Assistant	Cand. ing. Hegg	Cand. ing. H. Müller ¹	Cand. ing. v. Steiger
2 ^{me} »	Cand. ing. Bossard	Cand. ing. Stefanescu	Cand. ing. Bindschädler
1 Surveillant			
Ouvriers N ^{os} 11 et 12			
Lampiste	Albrecht	Amherd	Althaus
Ouvrier N ^o 13			
Groupes d'alignement.			
Chef.	Morel ²	Zölly	—
Assistant	Cand. ing. Wyss	Cand. ing. Lehmann	—
Ouvriers N ^{os} 1 à 3			
Total : 1 Directeur, 3 Chefs d'équipes, 8 Ingénieurs, 11 Cand. ing., 3 Lampistes, 3 Surveillants, 45 Ouvriers.			
¹ M. H. Müller ayant dû s'absenter pour les deux derniers jours à cause d'un service militaire a été remplacé par M. Paul Gautier.			
² M. Morel a aussi fonctionné, d'une façon passagère, comme observateur à la 1 ^{re} équipe.			

B. — MATÉRIEL.

GROUPE I.

1 règle; 1 équerre; 10 repères mobiles avec patins, crapaudines, mires, lampes à acétylène; 3 lanternes à huile.

GROUPE II.

Carnets pour le secrétaire; 2 thermomètres¹; 1 lampe à acétylène.

2 loupes pour les observateurs; 2 piquets-tenseurs avec lampes; 1 fil avec porte-mousquetons; 2 lanternes à huile; 1 cornette.

Matériel placé sous la surveillance du lampiste: 1 fil de 24 m.; 1 fil de 8 m.; 1 ruban d'acier de 4 m.; 1 ceinture porte-lunette; 1 caisse pour le fil avec 1 tambour, 1 axe, 1 manivelle et 2 porte-mousquetons de réserve; 1 gabarit; 16 repères de contrôle avec couvercles et vis; 1 lunette.

1 caisse avec: 1 lunette de nivellement, 1 lunette d'alignement, 10 loupes de réserve, 6 ressorts de réserve, 2 vis calantes de réserve.

1 caisse d'outils contenant: 1 marteau, 1 pince, des clous, 1 vrille, 1 grand tournevis, 1 petit tournevis, 1 clef anglaise, 1 scie, 3 goupilles pour vis, 2 pinces pour les brûleurs, 1 boîte d'étoupe, 1 boîte de minium, 1 boîte d'aiguilles, 2 entonnoirs (pour les scellements), 2 doubles mètres, ficelles pour fils à plomb, ficelle ordinaire, 1 ou 2 thermomètres de réserve.

1 pot de peinture blanche; quelques morceaux de liteaux; 1 boîte à graisse; chiffons; 3 lanternes à huile; 1 bidon à huile; 1 écran en toile; 1 morceau de toile à calquer; 2 jalons²; 2 trépieds de jalons²; 1 écran transparent sur trépied³; 8 lampes à acétylène de réserve; 1 boîte de brûleurs; provision de carbure; 1 bidon à eau.

GROUPE D'ALIGNEMENT.

1 lunette d'alignement; 1 théodolite³ avec son trépied; 1 cornette; 1 marque transparente³; 1 échelle transparente³; 1 écran transparent sur pied³; 2 jalons³; 2 trépieds pour jalons³; 3 lampes à acétylène; 2 lanternes à huile.

¹ Attachés à deux repères mobiles.

² Lorsqu'ils ne sont pas employés pour l'alignement.

³ Lorsqu'ils ne sont pas employés, se trouvent dans le matériel placé sous la surveillance du lampiste.

C. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Avant d'exécuter la mesure proprement dite de la base du tunnel du Simplon, les diverses équipes seront préalablement initiées à la méthode de mesure. Des instructions seront données à cet effet à chacune d'elles, entre 2^h et 6^h, de jour sur la route, et entre 11^h 1/2 et 5^h, de nuit sur la ligne du chemin de fer entre Viège et Rarogne, où une base sera marquée par des repères.

A cet effet se trouveront à la gare de Viège :

Le 14 mars à 2^h de l'après midi : le personnel de la I^{re} équipe et le I^{er} groupe de la section du contrôle de l'alignement pour la mesure d'essai; le secrétaire et les observateurs de la II^{me} équipe pour leur initiation.

Le 15 mars à 2^h de l'après midi : le personnel de la II^{me} équipe et le II^{me} groupe de la section du contrôle de l'alignement pour la mesure d'essai; le secrétaire et les observateurs de la I^{re} équipe pour l'instruction de la II^{me} équipe; le secrétaire et les observateurs de la III^{me} équipe pour leur initiation.

Le 16 mars à 2^h de l'après midi : le personnel de la III^{me} équipe pour la mesure d'essai; le secrétaire et les observateurs de la II^{me} équipe pour l'instruction de la III^{me}.

Le secrétaire de la I^{re} équipe renverra les instruments de mesure le 17 mars au matin à Brigue.

Les mesures dans le tunnel commenceront le 18 mars à 6^h du matin par la I^{re} équipe, en partant du point fixe n° III situé devant la galerie de direction côté nord. Suivent, de huit en huit heures, les équipes II, III, I, etc., jusqu'à ce que l'on atteigne l'observatoire côté sud. En ce qui concerne le transport du personnel dans le tunnel, on s'en tiendra à l'horaire établi à cet effet, par la Direction des Chemins de fer fédéraux.

Au retour, la mesure commencera le 21 mars à 6^h du matin par la II^{me} équipe, en partant de l'observatoire sud. Suivent sans interruption les équipes III, I, II, etc., pour aboutir au point initial, côté nord.

Le 23 mars, on mesurera, dans les deux sens, la distance entre le point fixe situé devant l'entrée de la galerie de direction côté nord et l'observatoire nord, en se servant d'un fil d'invar de 72 mètres pour le passage du Rhône. Pour cette partie de la mesure, le directeur donnera des instructions spéciales.

Le directeur fixera les heures de travail pour la *section du contrôle d'alignement*. Un des groupes de cette section devra, à l'aller comme au retour, assister à la mesure du premier et du dernier tronçon dans le tunnel (galerie de direction) et devra spéciale-

ment s'occuper de l'alignement des trépieds et du nivellement des repères. Ces groupes suivent, pendant les opérations dans le sens Brigue-Iselle, les groupes de mesure proprement dits et vérifient l'alignement des rails. Au retour, ils précèdent les groupes de mesure et marquent éventuellement, au pinceau, les emplacements des repères mobiles¹. Pour l'aller, ces marques ont déjà été faites avant le commencement des opérations.

3. — Règlement pour la mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon au moyen de fils d'invar.

INTRODUCTION.

Dans le présent règlement, les expressions : « en avant », « en arrière », « à droite », « à gauche », se rapportent à la direction dans laquelle la mesure s'effectue. Font seules exception les désignations : « droite », « gauche », qui se rapportent aux positions des deux observateurs chargés des lectures sur les réglettes des extrémités du fil ; ces observateurs font toujours front vers le fil, et le zéro des réglettes doit se trouver à leur gauche.

La ligne droite à mesurer se trouve de 0^m,245 à l'est de l'axe de la voie du tunnel.

Les repères fixes sont placés :

- n° I, sur le pilier de l'observatoire nord (Brigue) ;
- n° II, sur le pilier du signal nord de l'axe du tunnel ;
- n° III, sur un bloc de béton à 25^m,2 en dehors de la galerie de direction nord ;
- n° IV, dans le rocher, au ras du sol, à la sortie de la galerie de direction, côté sud ;
- n° V, sur le pilier de l'observatoire sud (Iselle).

Des repères de contrôle seront placés dans le tunnel sur les traverses de la voie à des distances de 100 portées de 24 mètres. Ils seront désignés, du nord au sud, par des chiffres arabes. Le n° 1 indiquera le point initial de la mesure sur la voie. Le point final de la mesure sur la voie, au sud, sera également marqué par un repère de contrôle.

A. — MESURE SUR LA VOIE DROITE A L'INTÉRIEUR DU TUNNEL.

Cette mesure commence là où se termine la mesure désignée plus loin par la lettre B. Son point initial est le repère de contrôle n° I, au-dessus duquel on placera

¹ A l'exécution, ces dispositions n'ont pas été suivies : les groupes de l'alignement ont, au retour comme à l'aller, suivi les équipes de la mesure. On a pu se servir, au retour, des mêmes marques à la peinture qu'à l'aller.

exactement, à l'aide du fil à plomb, le goujon du premier repère mobile. Tous les repères mobiles seront placés sur la voie par l'intermédiaire de deux crapaudines serrées contre le champignon du rail est; leur écartement est réglé une fois pour toutes par un câble métallique d'une longueur constante. Deux des jambes des trépieds supportant les repères mobiles sont posées sur ces crapaudines, la troisième est engagée dans un tube qui s'appuie contre le rail ouest au moyen d'une cornière en fonte. L'inclinaison des pieds et la position du goujon par rapport à l'axe de la voie restent ainsi les mêmes pendant toute la durée de la mesure sur la voie. (Le goujon se trouve à 0^m,245 à l'est de l'axe de la voie).

Les repères mobiles seront placés à des distances de 24 mètres les uns des autres. Les points du rail où seront vissées les crapaudines d'arrière de chaque repère mobile seront indiqués par des marques à la peinture blanche, qui seront faites pendant les nuits qui précéderont la mesure.

Pendant que le *groupe II* s'occupe du réglage du premier repère mobile, au-dessus du premier point (repère de contrôle n° 1); le personnel du *groupe I* marche en avant avec les repères mobiles disponibles, en passant toujours par le *côté ouest*, en dehors de la voie, donc à droite pour la mesure de l'aller (Brigue-Iselle), et à gauche pour la mesure du retour (Iselle-Brigue). Le chef du groupe place les repères mobiles successifs aux endroits indiqués par les traces blanches; il contrôle d'abord la position des pieds, puis celle du goujon, au moyen du fil à plomb, par rapport à une marque faite sur une règle en bois qu'il porte avec lui. La pointe du fil à plomb doit coïncider avec la vis fixée à la règle de bois, sinon le goujon est déplacé au moyen des vis radiales. Puis le chef remet le fil à plomb à sa place, il serre les écrous à ailettes des jambes du trépied et règle le niveau du goujon. L'ouvrier porteur du repère mobile attend du côté ouest du tunnel jusqu'au moment où il doit reporter de nouveau son repère mobile en avant, en passant par le côté ouest de la voie. Ce moment arrive lorsque le repère est séparé par deux portées de 24 mètres de l'observateur d'arrière, et qu'il reste un repère mobile isolé en place entre lui et cet observateur¹. Avant d'enlever le repère mobile, le porteur dévisse les écrous à ailettes du trépied; puis, pour le transport, il suspend au moyen du câble les crapaudines autour de son cou.

Les *observateurs du groupe II*, après avoir déroulé le fil, se placent devant les repères sur le côté est de la voie, le zéro de la réglette se trouvant à leur gauche. Le *secrétaire* se trouve entre eux sur le même côté de la voie, avec deux hommes: l'un (n° 11) pour éclairer pendant qu'il écrit, l'autre (n° 12) restant disponible. Les deux *assistants* qui portent les piquets-tenseurs placent ceux-ci de telle sorte que la poulie soit alignée aussi bien que possible dans la direction de la mesure, à une distance

¹ Afin d'éviter l'enlèvement prématuré des repères mobiles, les porteurs ont été avisés de ne les déplacer que sur un signal de cornette donné par le chef du groupe de mesure.

d'environ 1^m,50 du goujon et un peu au-dessus de ce dernier. Une fois les piquets-tenseurs en place, les observateurs accrochent les porte-mousquetons des extrémités du fil au bout des cordons des poids et annoncent — *Prêt!* — Ensuite, le secrétaire commande successivement — *Attention!* — *Poids!* — *Lâchez!* — Au premier de ces trois derniers commandements, les goupilles qui fixent les poids aux pieds des piquets-tenseurs sont enlevées, au deuxième, les poids sont retirés de leurs encastremements et, au troisième, ils sont descendus lentement et sans secousse, tandis que les observateurs, tenant les porte-mousquetons, arrêtent les mouvements du fil et surtout l'empêchent de buter contre les repères. La position des piquets-tenseurs est ensuite corrigée jusqu'à ce que les réglettes soient bien dans la direction de la mesure et à la hauteur des têtes des goujons. Si les poids balancent, on arrête leurs oscillations. L'*observateur d'avant* contrôle et corrige le niveau, ainsi que la direction de l'arête du goujon, laquelle doit coïncider avec celle du fil; il s'assure que les vis radiales sont serrées, puis annonce — *Prêt!* — L'*observateur d'arrière* donne le même signal, *sans toutefois rien changer à la position du goujon.*

Le secrétaire commande — *Lecture!* — L'observateur de droite avise — *Prêt!* — au moment où il fait sa lecture; au même moment, l'observateur de gauche fait la sienne et indique d'une voix distincte son résultat au secrétaire, puis l'observateur de droite fait de même. Le secrétaire inscrit les résultats. Les réglettes ayant été déplacées d'une quantité quelconque, on fait une nouvelle paire de lectures. Après cinq répétitions qui ne doivent pas, dans la règle, différer de plus de 0^{mm},3 les unes des autres, le secrétaire commande — *Terminé!* —

Aux commandements du secrétaire : — *Attention!* — *Poids!* — *Goupille!* — les assistants saisissent les poids au premier, les soulèvent lentement au second et, au troisième, les fixent à leur place. Pendant cette opération, les deux observateurs veillent à ce que le fil ne bute pas contre les goujons, puis le détachent des cordons qui le relient aux poids, lorsque ces derniers sont fixés aux pieds des piquets-tenseurs. Lorsqu'ils ont annoncé — *Prêt!* — le secrétaire commande — *En avant!* — et l'équipe part vers la nouvelle portée où elle se remet en station.

Si le secrétaire a d'autres occupations momentanées, c'est à l'observateur d'avant qu'incombe la direction de la manœuvre du fil.

A la mesure du retour (Iselle-Brigue) le secrétaire fera contrôler la pente des portées à partir de la traverse n° 56 (km. 13,49 compté depuis Brigue) jusqu'à la traverse n° 49 (km. 11,92), ce qui correspond à peu près à la distance entre les portées n° 365 et n° 430 comptées à partir de l'observatoire sud. On lui adjoindra, à cet effet, un chef de groupe du contrôle d'alignement, lequel portera la lunette de nivellement et placera les mires de telle façon qu'elles soient, le plus possible, perpendiculaires à la direction de la mesure, et qu'elles soient bien éclairées par les lampes des repères mobiles. Cet ingénieur

et l'ouvrier n° 12 du groupe de mesure marchent en avant ; le chef place la lunette de nivellement successivement sur chaque repère mobile, en donnant chaque fois, d'abord un coup d'arrière, puis un coup d'avant ; il communique ultérieurement ses lectures au secrétaire. Les mires restent fixées aux trépieds pendant la mesure de cette section de la voie ; elles seront, en cas de besoin, enlevées de leur support par les observateurs, lors de la mesure avec le fil, et seront remises par l'ouvrier qui transporte le trépied en avant. Le lampiste veillera à ce que les ouvriers n'oublient pas de mettre ces mires en place.

Derrière le groupe de mesure vient le *lampiste* avec son aide (ouvrier n° 13) qui pousse un wagonnet transportant tout le matériel. Il contrôle la lanterne de tout repère devenu libre, *mais pas avant que le repère puisse être enlevé* ; il remplace toutes les lampes dont le fonctionnement est défectueux et les remet en état. Sur le wagonnet se trouvent en outre les repères de contrôle ainsi que le matériel et les outils nécessaires à leur mise en place. Le lampiste s'occupe aussi de la pose des couvercles des repères de contrôle.

Le *contrôle de l'alignement* de la partie rectiligne de la voie est fait, dans la mesure du possible, à l'aller (Brigue-Iselle) par les deux groupes de ce contrôle. L'alignement sera contrôlé le long du bord interne du rail ouest. Au-dessus de ce même bord, seront placés l'axe du théodolite et les zéros de l'échelle et de la mire transparentes, vis-à-vis des marques à la peinture blanche servant à la pose des repères mobiles ; la mire transparente¹, manœuvrée par l'ouvrier n° 2 du contrôle d'alignement, se trouve placée à quatre portées en arrière ; l'échelle transparente², manœuvrée par l'ouvrier n° 1 du contrôle d'alignement, à quatre portées en avant de la station du théodolite. L'assistant du groupe contrôle la pose exacte des écrans transparents. Les stations de ces écrans et du théodolite seront désignées par les numéros des portées qui les précèdent et qui les suivent sous forme de fraction. Par exemple :

Marque transparente, station	12/13.
Théodolite,	» 16/17.
Échelle transparente,	» 20/21.

Le chef du groupe, qui dispose de l'ouvrier n° 3, vise avec la lunette du théodolite la mire transparente (en arrière), fixe l'alidade, tourne la lunette autour de l'axe horizontal, vise l'échelle transparente (en avant), y lit la déviation en centimètres et la note (par exemple : 2,5 gauche ; 1,2 droite)³. Il tourne ensuite l'alidade,

¹ Voir fig. 19, p. 18.

² Voir fig. 20, p. 18.

³ Au lieu de gauche ou droite on notait, pendant les mesures, — ou + ; ces signes étaient marqués sur l'échelle. Voir fig. 20, p. 18.

visé de nouveau la mire, retourne la lunette et lit une seconde fois la déviation sur l'échelle. Il fixe ensuite la lunette sur la moyenne des deux lectures de l'échelle, puis cette dernière est déplacée successivement de 1, 2, 3 portées, et chaque fois on fait la lecture correspondant à la position de la lunette. Le chef du groupe commande le déplacement de l'échelle par un *signal* de cornette. Si la mire doit être transportée en avant, il donne *deux signaux* de cornette, sur quoi la mire, l'échelle et le théodolite sont déplacés de quatre portées, et l'opération recommence.

B. — MESURE AU TRAVERS DES GALERIES DE DIRECTION JUSQU'AU RACCORDEMENT AVEC LA VOIE RECTILIGNE DU TUNNEL.

Pour la mesure de ces sections, on adjoindra un des groupes de l'alignement au groupe I de la mesure : le chef du groupe d'alignement (nous l'appellerons « chef d'alignement ») dirigera les deux groupes réunis. Ils seront munis du gabarit, des lunettes d'alignement et de nivellement.

En partant du point initial, on disposera, à 100 ou 200 mètres de distance, des jalons qu'on alignera au moyen du théodolite. Pour rendre ces jalons visibles dans le tunnel, on les placera devant un écran transparent éclairé par une lampe à acétylène et supporté par un trépied. La hauteur de ce trépied ne doit pas dépasser celle des repères mobiles.

Le premier repère mobile sera placé sur le point initial, de telle sorte que la jambe du trépied sur laquelle est fixé le porte-lampe soit située du côté du pied-droit ouest du tunnel ; les suivants seront placés de même. Le chef du groupe I tient l'extrémité d'arrière du gabarit de 24 mètres à la hauteur du premier repère mobile ; l'assistant du contrôle d'alignement tient l'extrémité d'avant, l'amène au commandement du chef du groupe I dans un alignement approché, et place ensuite un repère mobile vers cette extrémité. Le chef du groupe I annonce alors — *Alignement !* — place la lunette d'alignement sur le goujon du premier repère mobile et commande, par exemple, — 3 cm. ouest ! — ou — 5 cm. est ! — sur quoi l'assistant déplace le repère mobile d'avant, jusqu'à ce que le goujon apparaisse dans la direction du jalon. Dans le tunnel, le goujon sera éclairé par devant, de bas en haut. Lorsque l'emplacement du repère mobile sera suffisamment exact pour que les petits déplacements encore nécessaires puissent s'effectuer au moyen des vis radiales, le chef du groupe commande — *Vis !* — et indique le sens des déplacements. Quand le goujon se trouve dans la direction convenable, le chef du groupe donne le commandement de — *Halte !* — puis de — *Distance !* — après quoi on mesure encore une fois la distance du premier au deuxième repère mobile et on rectifie la

position de ce dernier s'il y a lieu. Si cette rectification a occasionné un déplacement du deuxième repère mobile dans la direction, on commande de nouveau : — *Alignement !* — Ces corrections seront poursuivies jusqu'à ce que la longueur et la direction soient satisfaisantes. Les vis des jambes des trépieds seront ensuite serrées, le niveau des goujons réglé, la mire de nivellement fixée ; puis au commandement : — *En avant !* — donné par l'assistant, l'équipe entière se transporte vers la portée suivante. Quand le chef du groupe est assez rapproché du troisième repère mobile, il commande — *Lentement* — et, lorsque la marque fixe du gabarit se trouve à la hauteur du goujon, — *Halte !* — La pose des repères mobiles subséquents se fait d'une manière identique à celle qui vient d'être décrite.

C'est le *chef d'alignement* qui s'occupe de la pose du jalon de direction et de l'écran transparent. Avant la mesure avec le fil, il nivelle les repères mobiles avec la lunette de nivellement ; il place la lunette sur le goujon du premier repère, règle le niveau dans le sens de la marche et fait la lecture de la pente en ‰ , en visant la mire du repère suivant. Ensuite, il enlève la lunette du premier repère et met la mire à sa place, puis place la lunette sur le deuxième repère, règle le niveau et lit la pente sur la mire d'arrière puis sur celle d'avant. Il répète la même opération sur tous les repères mobiles successifs. Dans l'obscurité, les mires doivent être placées aussi près que possible de la perpendiculaire à la direction de la ligne à mesurer et de telle sorte qu'elles soient éclairées par devant. Le chef d'alignement communique les lectures faites au moyen de la lunette au secrétaire qui en prend note. Pendant ces opérations, un des hommes de l'équipe du contrôle de l'alignement est mis à la disposition du chef d'alignement, un autre à celle de l'assistant, le troisième reste disponible.

La mesure avec le fil s'exécute comme il a été dit dans le paragraphe A.

Après l'achèvement des mesures avec le fil, les repères mobiles sont transportés en avant par leurs porteurs. Ils ne doivent toutefois pas être déplacés avant que la distance entre l'observateur d'arrière du groupe de mesure et le repère mobile soit de deux portées de 24 mètres. Avant de marcher en avant, l'ouvrier replace les mires sur les goujons, si elles ne s'y trouvent pas déjà, dévisse les écrous à ailettes des jambes des trépieds et fait examiner sa lanterne par le lampiste.

Les ouvriers porteurs de repères mobiles circuleront toujours du côté ouest. Pendant les opérations de mesure dans les galeries de direction, ils devront ou bien attendre que la mesure soit terminée dans la galerie, ou bien passer par l'entrée du tunnel I.

C. — MESURE DE LA DISTANCE ENTRE LA TÊTE DE LA GALERIE DE DIRECTION NORD
ET L'OBSERVATOIRE NORD.

Cette mesure sera faite d'après les ordres du directeur général qui donnera des instructions spéciales à cet effet. Pour cette section de la base, le groupe I aura pour l'assister la section du contrôle d'alignement. Tous les repères mobiles seront alignés et convenablement espacés par le chef d'alignement au moyen d'un théodolite placé sur le repère fixe III. Les dénivellations des repères seront déterminées, pour les fortes pentes, par la mesure de l'angle vertical, pour des pentes plus faibles, par un nivellement. La mesure avec le fil ne commencera que lorsque tous les repères mobiles seront à leur place.

D. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Pour la réussite d'une mesure comme celle dont il s'agit ici, il est de première nécessité de se soumettre à une discipline rigoureuse. Chacun doit connaître exactement ses fonctions et ne doit être employé qu'à la tâche qui lui a été assignée. Tous les travaux doivent être exécutés sans hâte et sans bruit. On ne parlera que pour donner des ordres ou des indications de service ; les conversations entre le personnel et les spectateurs sont interdites.

Les secrétaires et les chefs d'alignement devront rassembler leurs équipes un quart d'heure avant le moment du départ pour le tunnel, près du portail nord. Les chefs de groupe feront l'appel de leur personnel et les placeront, alignés, dans l'ordre indiqué par leurs numéros dans le groupe. Puis les chefs de groupe feront rapport au secrétaire, chef de l'équipe.

Les équipes seront, chacune à son tour, transportées dans le tunnel par un train composé d'une locomotive et de deux voitures à voyageurs jusqu'à l'endroit où l'on rencontrera l'équipe précédente. D'après l'horaire établi par les Chemins de fer fédéraux, les départs des trains sont fixés à 5^h 15^m du matin, 1^h 15^m et 9^h 15^m du soir. Ces trains ramèneront chaque fois l'équipe relevée.

Lors d'un changement de service, le groupe de mesure sortant de charge mesure encore la portée sur laquelle le fil est tendu, et cette mesure est répétée par la nouvelle équipe. Le secrétaire sortant de charge indique à son successeur le numéro du dernier repère de contrôle et celui de la portée mesurée en dernier lieu.

Les équipes du contrôle d'alignement ont leur matériel en commun. — Le matériel des équipes de la mesure sera remis d'une équipe à l'autre dans le tunnel, sur l'ordre du secrétaire sortant de charge, qui commandera — *Remettez le matériel!* — Chaque chef de groupe, ainsi que le lampiste, remet à son successeur son matériel et fait rapport au secrétaire, après quoi ce dernier commande — *Retraite!* — Les groupes sont alors rassemblés en arrière par les chefs de groupe et ne montent dans le train qu'après que ces derniers se sont assurés de la présence de tout leur personnel. — Le secrétaire donne le signal du départ du train.

La pose d'un repère de contrôle se fait sur l'ordre du secrétaire. Le chef du groupe I place approximativement ce repère. Dans la mesure d'aller, ces repères de contrôle doivent coïncider avec l'extrémité d'une portée. Les positions de ces mêmes repères seront reprises au retour. Dans le cas où un repère de contrôle tomberait à l'intérieur d'une portée, la partie restante sera mesurée avec le ruban d'acier de 4 mètres et éventuellement avec le fil de 8 mètres. Le chef du groupe I placera le ou les repères mobiles supplémentaires aux distances exigées dans chaque cas particulier. Les portées correspondantes à ces distances seront désignées par le numéro de la portée de 24 mètres à laquelle elles appartiennent, avec la mention : « bis », « ter ». Le secrétaire prendra dans son carnet un croquis aussi clair que possible des dispositions relatives à ces repères intermédiaires. Par exemple :

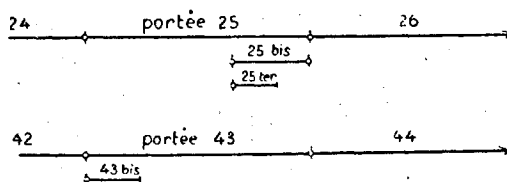


FIG. 21.

Pendant la mesure avec le fil de 8 mètres, les porteurs des repères mobiles de la portée de 24 mètres correspondante tiendront le fil de 24 mètres. La continuation de la mesure se fera, non pas à partir du repère intermédiaire, mais à partir du repère mobile limitant à l'avant la dernière portée de 24 mètres, de sorte qu'une erreur accidentelle commise dans le raccordement de ce repère intermédiaire resterait sans influence sur le résultat général.

Les observateurs échangeront leurs places de dix en dix portées. Des repos seront ordonnés par les secrétaires selon les besoins.

Les portées seront numérotées en commençant par le n° I au repère fixe n° III.

On mesurera les 500 premières portées avec le fil n° 98. Les portées suivantes, depuis le n° 501 jusqu'à ce que la mesure atteigne le repère fixe n° V, seront mesurées avec le fil n° 99. Pour le retour, le même fil n° 99 sera employé jusqu'à ce que l'on ait

EXERCICES PRÉLIMINAIRES A VIÈGE

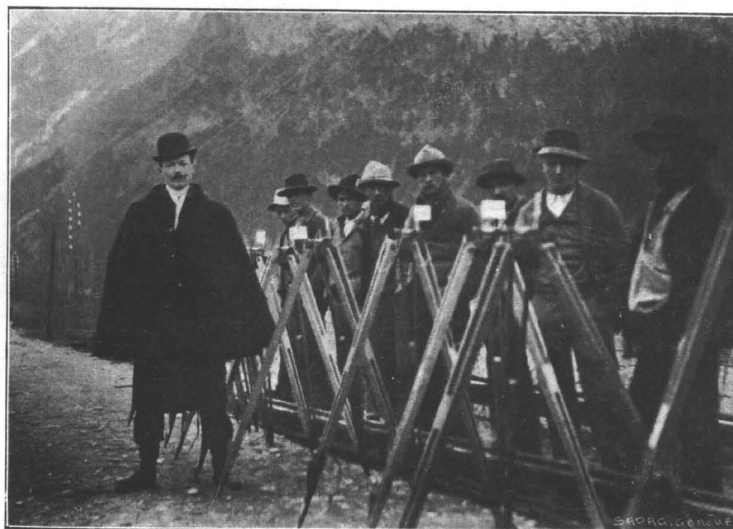
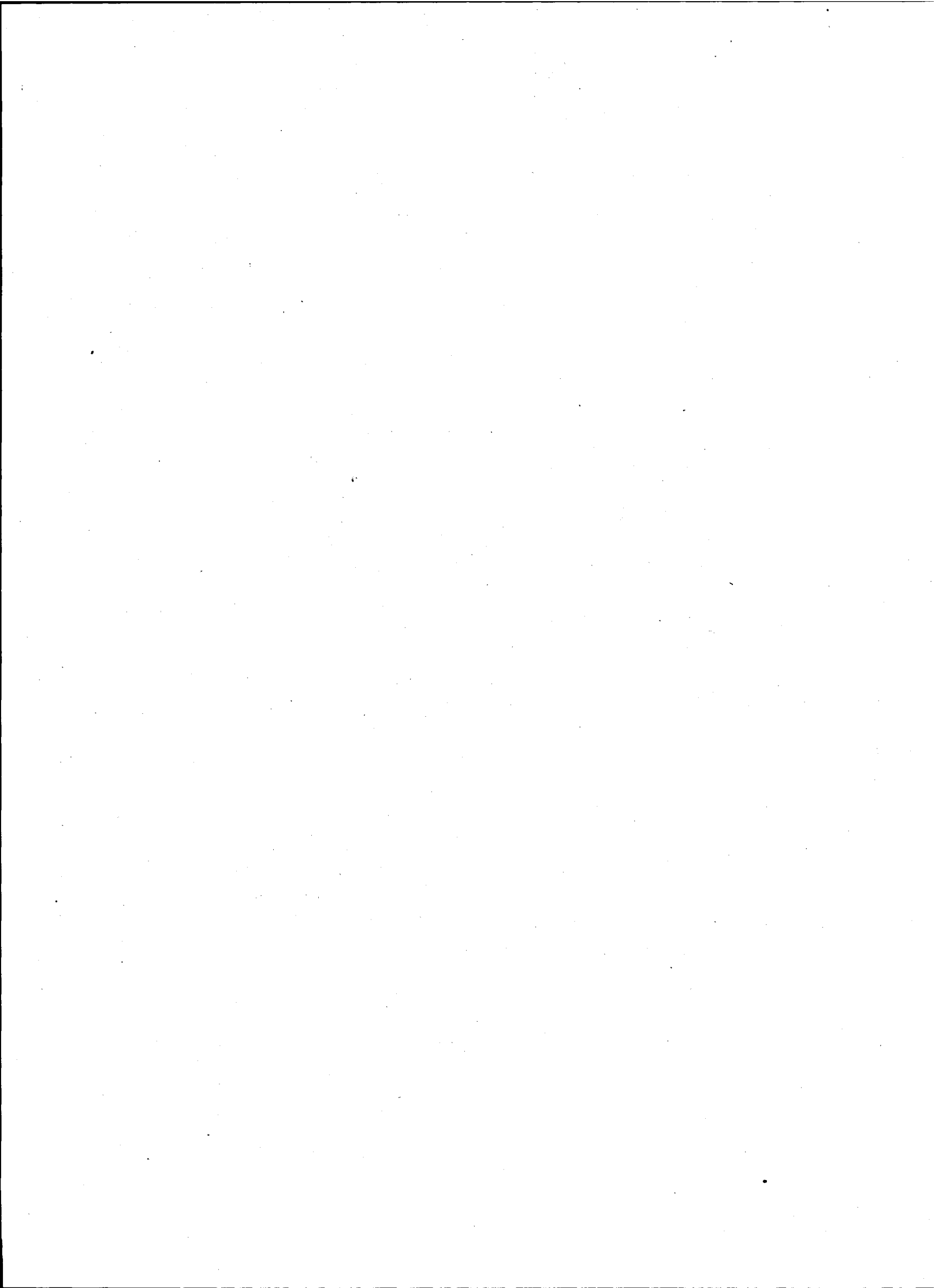


FIG. 22. — Groupe I de la mesure prêt pour le départ.



FIG. 23. — Départ pour les exercices.



remesuré la portée n° 301, puis on reprendra le fil n° 98 jusqu'au repère n° III. De cette façon, les 300 premières portées seront mesurées, aller et retour, avec le même fil n° 98. Les 200 portées suivantes seront mesurées avec les deux fils, et les 300 et quelques autres portées seront mesurées, aller et retour, avec le fil n° 99. Le fil non employé pour la mesure sera emporté dans le tunnel comme fil de réserve.

Sur le désir de la Direction des Chemins de fer fédéraux, on mesurera, avec une approximation de ± 1 cm., la position de l'éclissage du rail est, qui sera le plus rapproché de chaque niche kilométrique. Cette opération sera faite par le chef du groupe I, qui marquera sur le rail la position du repère mobile le plus rapproché de l'éclissage en question, et qui mesurera, au double mètre, la distance qui sépare le point ainsi rapporté du joint des rails. Ces éclissages seront marqués au bord extérieur avec de la peinture blanche. Une marque à la peinture sera également faite vis à vis du joint au pied-droit est du tunnel. Le secrétaire notera dans son carnet la position de ces joints.

Les secrétaires et les observateurs devront, autant qu'ils le pourront, prendre copie des résultats des mesures, entre leurs périodes de service, et, si possible, commencer les calculs. A cet effet, un bureau général sera installé à Brigue.

4. — Note complémentaire.

Des carnets, contenant une centaine de formulaires imprimés du modèle ci-dessous, ont été mis à la disposition des trois secrétaires en nombre suffisant pour toute la durée des opérations.

Secrétaire :

Beob. } links-gauche
 Observ. } rechts-droite

Abschnitt }
 Section }

Draht } No
 Fil }
 Datum }
 Date }

	Ablesungen — Lectures			Neigung — Pente		Notizen — Notes
	No	links gauche	rechts droite	r — l d — g	vorw. avant	
Spanne } No Portée }						
Zeit } Heure }						
Therm.						
Spanne } No Portée }						
Zeit } Heure }						
Therm.						
Spanne } No Portée }						
Zeit } Heure }						
Therm.						

5. — Mesure de la base d'essai.

Le programme des opérations a pu être exécuté tel qu'il avait été fixé à l'avance sauf dans quelques détails qui sont relevés au chapitre suivant. Il convient de résumer tout d'abord brièvement ici les résultats des exercices préliminaires qui ont eu lieu près de Viège les 14, 15 et 16 mars, et dont les fig. 22 et 23, pl. II, donnent un aperçu.

La mesure de la base d'essai sur la voie rectiligne entre Viège et Rarogne a fourni les résultats suivants, dans lesquels on a tenu compte de l'équation du fil employé, n° 64, en négligeant les réductions provenant de légères pentes de la voie et d'une déviation possible de la ligne droite, que l'on n'a pas vérifiées et qui sont d'ailleurs les mêmes pour toutes les mesures.

14/15 mars, première équipe	950 ^m ,153 ₃ .
15/16 » deuxième » (aller)	950 ^m ,144 ₄ .
» » » (retour)	950 ^m ,146 ₄ .
16/17 » troisième »	950 ^m ,146 ₄ .

Les températures ont varié entre $- 2^{\circ}$ et $+ 10^{\circ}$; le temps était calme. La première mesure ne s'accorde pas avec les trois autres; il est possible qu'il ait été fait une erreur de lecture dans l'emploi du ruban d'acier au raccordement avec l'un des termes de la base. Les équipes suivantes ont pu, d'ailleurs, profiter des expériences faites par la première. Le résultat de leurs mesures montre une concordance que l'on peut qualifier de très satisfaisante.

Ces résultats très encourageants permettaient de prévoir une bonne réussite de la mensuration de la base du Simplon, qui devait commencer le 18 mars au matin.

CHAPITRE IV

EXÉCUTION DE LA MESURE

1. — Section de la base entre les repères n^{os} III et V.

La mesure de la base à travers le tunnel du Simplon a commencé le 18 mars à 7^h 10^m du matin. Le premier repère mobile était placé verticalement au-dessus du repère fixe n^o III. Les repères mobiles suivants avaient déjà été placés de 24 en 24 mètres et alignés, la veille, sur une longueur de 120 mètres environ, dans la galerie de direction. La direction de l'axe de la base était marquée par un jalon, placé devant un transparent illuminé, installé au fond de cette galerie étroite. Après la neuvième portée, à 8^h 25^m, on atteignait le repère de contrôle n^o 1, soit la première station sur la voie rectiligne du tunnel. La mise en place des repères mobiles successifs et le nivellement des goujons avaient jusque là considérablement retardé l'opération. La mise en place du repère de contrôle n^o 1 et le centrage du repère mobile occasionnèrent de nouveaux retards.

Enfin, à 9 heures, on put commencer la mesure sur la voie rectiligne; elle marcha plus régulièrement, par suite de la pose plus rapide des repères mobiles, dont les emplacements étaient marqués à la peinture. On put aussi se dispenser d'exécuter le nivellement en raison de la pente régulière de la voie. A 2 heures, lorsque l'équipe II vint prendre la place de l'équipe I, celle-ci avait mesuré 90 portées; à 10 heures du soir, l'équipe II arriva à la portée 230 et fut remplacée par l'équipe III, qui, dans les 8 heures suivantes, poussa jusqu'à la portée 320; et, ainsi de suite, une équipe succédant à l'autre sans interruption.

Après la mesure de la portée 368, pendant que le groupe de mesure avançait vers la portée 369, l'observateur d'avant fit un faux pas et tomba dans un fossé qui coupait le ballast en travers. Par le fait de cette chute le fil subit une légère courbure et, en remesurant la portée 368, on put constater qu'il s'était raccourci de 0^{mm},15. On fut obligé

de recourir à l'emploi immédiat du fil n° 99, qui servit pour tout le reste de la mesure dans le tunnel ¹.

Dans le milieu du tunnel se trouve un évitement de la voie, et la longueur des rails diffère parfois de la longueur normale de 12 mètres ; les opérations se ralentirent de ce fait, soit pour les mesures de l'aller soit pour celles du retour. Les marques à la peinture avaient été faites près des joints des rails, dans cette section aussi, et leur distance ne correspondait plus à la longueur exacte des fils. On dut par suite déplacer les repères mobiles par rapport aux marques et l'on ne put retrouver la coïncidence avec les joints que beaucoup au-delà. L'humidité avait du reste aussi effacé une partie des marques faites à la peinture.

Pour obtenir un bon centrage des repères mobiles sur les repères de contrôle, on se servait d'une lunette qui permettait de faire concorder à peu de chose près la pointe du fil à plomb avec la croisée des traits gravés sur le repère métallique. Toutefois, il était nécessaire de prendre de grandes précautions pour annuler l'effet du courant d'air violent, chassé dans le tunnel par les ventilateurs. Au début, nous nous bornions à tendre, du côté du vent, un grand écran de toile, que nous amenions aussi bien que possible, en contact avec le ballast, en le repliant par dessus les rails. Mais une petite différence dans deux vérifications successives, sur un même repère de contrôle, nous montra que la protection n'était pas toujours complète. La présence de la toile réduisait même assez sensiblement la section du tunnel au niveau du sol, pour qu'il se produisit, sous le vent, des remous qui entraînaient le fil à plomb en arrière. Après avoir suivi, à l'aide de la fumée d'un cigare, la marche des courants d'air derrière la toile, nous nous décidâmes à assurer au fil à plomb une protection plus complète, en l'enfermant entre deux des tôles semi-cylindriques, destinées à recouvrir les grands repères de contrôle. Ces demi-cylindres, munis d'ailettes servant à les fixer sur les traverses, étaient placés verticalement, de manière à laisser entre eux une fente étroite, permettant à la fois d'observer le fil à plomb au moyen de la lunette, et d'éclairer sa pointe et la croisée des traits. A partir du moment où nous avons fait usage de cette protection, ajoutée à celle que donnait déjà la toile, nous avons pu observer le fil à plomb dans une immobilité complète, avec la certitude que le courant d'air ne produisait plus aucune perturbation.

Le dispositif qui vient d'être décrit n'ayant été employé que pour la moitié environ de la mesure du retour, il a pu résulter, de l'entraînement par le courant d'air, de petites erreurs dans le repérage sur le sol à l'aller et dans une partie du retour. Mais ces erreurs n'ont pu influer en rien sur le résultat de la mesure totale, puisque

¹ Les fils nos A₃₁, A₃₂ et A₃₃ étaient encore en réserve, mais leurs réglettes, comme il a été dit plus haut (p. 7), ne s'adaptant pas aussi bien aux têtes des repères mobiles que celles des fils nos 98 et 99, on avait préféré ne les employer que pour le contrôle de ces derniers.

les repères de contrôle n'ont jamais servi pour un départ. Elles ont pu en revanche, entraîner des discordances sensibles dans les deux mesures d'une même section, de telle sorte que l'exactitude apparente des mesures a pu être diminuée sans que l'exactitude réelle en ait été affectée.

Le centrage sur les repères de contrôle et la mise en place de ces derniers exigeaient, au début de 20 à 30 minutes. Plus tard, et surtout lors du retour, les repères étant déjà en place et les équipes ayant acquis une plus grande pratique du travail, ces opérations ne duraient plus que 5 à 10 minutes.

Les équipes prenaient en général un court repos de 20 à 30 minutes après avoir travaillé pendant quatre ou cinq heures.

Le 20 mars à 1^h 30^m on atteignit, avec la portée n° 814, le repère de contrôle n° 10, soit le point où il fallait quitter la voie rectiligne pour passer dans la galerie de direction du côté sud. En prenant comme point de départ le repère de contrôle n° 1, placé à l'extrémité de la portée n° 9, on avait mesuré 802 portées¹, soit environ 19 248 mètres en 52 heures et demie ce qui donne une moyenne de 367 mètres à l'heure, en y comprenant les arrêts.

La mesure au travers de la galerie de direction du côté sud a duré de 1^h 30^m à 3^h 50^m, soit 2 heures 20 minutes pour 12 portées, ou 288 mètres environ, ce qui correspond à 123 mètres à l'heure. La mesure des 823 portées entre les repères fixes nos III et IV, à travers tout le tunnel, y compris les deux galeries de direction, a donc exigé une durée de 56 heures et 40 minutes, ce qui correspond à un progrès moyen de 348 mètres à l'heure, arrêts compris.

L'équipe I, qui avait mesuré la dernière section du tunnel, acheva la mesure du repère n° IV au repère n° V (observatoire sud), aller et retour. En rentrant à Brigue avec le train, elle emporta avec elle tous les appareils de la mesure.

Le 21 mars à 5^h 15^m du matin l'équipe II entra dans le tunnel par le portail nord pour se rendre avec le train à l'extrémité sud et pour commencer la mesure de retour à partir du repère fixe n° IV. Après la revision du matériel, l'organisation du personnel, la mise en place des repères mobiles et les autres préparatifs nécessaires, le travail de mesure ne put être repris qu'à 10^h 20^m du matin. Cette mesure de retour s'effectua sans incidents particuliers. Les équipes, habituées aux diverses opérations, avancèrent de plus en plus vite. Pour la mise en place des repères mobiles, on put se servir des mêmes marques sur les rails qui avaient servi pour l'aller. Un seul retard important fut causé, lors du passage du tunnel à la galerie de direction nord, par suite du brouillard épais qui se forma après l'ouverture des portes aux deux extrémités de cette galerie et dont l'opacité était telle que, de l'intérieur, l'ouverture était totalement invisible déjà à

¹ Les trois portées nos 487, 488 et 524 manquent par suite d'erreurs de numérotation.

faible distance, à la hauteur des têtes des repères; un peu de la lumière extérieure apparaissait seulement au ras du sol.

On atteignit le repère fixe n° III le 23 mars à 9^h 30^m du matin. La mesure de retour avait été effectuée en 47 heures et 10 minutes, ce qui correspond à un progrès moyen de 419 mètres à l'heure. Pour toute la mesure de retour sur la voie rectiligne, on arrive à une moyenne de 466 mètres à l'heure. Vers la fin, les équipes, bien entraînées, faisaient jusqu'à 180 portées en 8 heures, soit 540 mètres à l'heure, arrêts compris.

Pendant la mesure, le travail a été surtout entravé par le fonctionnement défectueux des lampes à acétylène qui souvent brûlaient mal et s'éteignaient fréquemment. On doit attribuer ce fait à la construction des brûleurs qui s'obstruaient trop facilement, et qui ne pouvaient pas être soumis à un nettoyage suffisant par suite du travail continu. La chaleur de la flamme et, souvent aussi, le transport trop brutal des repères mobiles faisaient casser les verres des lanternes, et la flamme, insuffisamment protégée et soufflée par le courant d'air du tunnel, ne fournissait plus la quantité de lumière désirable. Ces inconvénients auraient pu être notablement atténués par des soins plus minutieux et par une plus grande pratique du réglage des lanternes, mais ils n'auraient jamais pu être totalement éliminés. Enfin on a dû remplacer à plusieurs reprises les cordons portant les poids tenseurs qui, insuffisamment guidés dans la gorge de la poulie, étaient souvent pincés entre le bord de celle-ci et la chape qui la supporte, et subissaient une lésion qui empêchait leur emploi ultérieur¹. Pour éviter, autant que possible, les pertes de temps dans le tunnel, chaque porteur de piquet-tenseur était muni d'une corde de rechange lui permettant d'effectuer rapidement le remplacement de celle qui était devenue défectueuse.

Tous ces petits dérangements ont fait reconnaître qu'il manquait à chaque équipe une personne de plus, sorte d'adjudant du chef, qui aurait eu la tâche de reviser le matériel et de réparer ça et là les petites défauts; puis surtout d'établir la communication entre les groupes I et II et de s'employer à faciliter le travail du groupe qui avait pris du retard. Pour la mesure de retour, ce poste a été occupé par l'un ou l'autre des ingénieurs qui, à tour de rôle, sacrifiaient volontairement la moitié de leurs heures de repos pour travailler avec l'équipe qui succédait à celle à laquelle chacun d'eux était attaché.

Les *groupes d'alignement* travaillaient au début derrière les groupes de mesure proprement dits. Ils étaient formés d'abord en deux équipes et plus tard en quatre. Le programme prévoyait qu'on ferait des stationnements de quatre en quatre portées, mais cette prescription ne put pas toujours être suivie. Souvent l'air, saturé de vapeur,

¹ Le guidage des cordons a été amélioré ultérieurement, au Bureau international des poids et mesures, par une modification de la chape.

forçait à prendre des distances plus courtes (trois portées). Puis les opérations de l'alignement avançant en général plus lentement qu'on ne l'avait prévu, on prit plus tard, là où la transparence de l'air le permettait, des visées jusqu'à sept portées à la fois.

Quant au *nivellement*, on n'employa la lunette faisant partie du matériel qu'en dehors du tunnel et dans les galeries de direction, puis exceptionnellement sur une section de deux kilomètres de longueur environ, située symétriquement par rapport au changement de pente au milieu du tunnel. En effet, sur la voie, les têtes de tous les repères mobiles se trouvaient, par suite de l'écartement constant des trépieds, à la même hauteur au-dessus des rails. La pente de la voie elle-même a été déterminée par un nivellement de précision exécuté par les ingénieurs du Service topographique fédéral. Ce nivellement a donné les hauteurs successives de joints des rails distants en général de 48 mètres les uns des autres. On a pu, en s'y reportant, calculer, comme nous le verrons plus loin, les réductions à effectuer sur toute la longueur de la base pour tenir compte de la pente.

Ajoutons encore à la fin de ce paragraphe que, pour comparer les fils entre eux avant, pendant et après les opérations, on avait établi à Brigue, contre le mur d'un bâtiment construit par l'Entreprise du tunnel, près du portail nord, un comparateur qui est représenté, dans les fig. 24 et 25, pl. III. Ce comparateur était constitué par deux potences scellées dans ce mur, à 24 mètres l'une de l'autre; elles portaient des repères en forme de goujons se terminant en calottes légèrement sphériques, sur lesquelles étaient gravés deux traits en croix. Tous les fils disponibles ont été comparés entre eux au moyen de ce comparateur le 17, puis le 20¹ et enfin le 23 mars. Les résultats obtenus se trouvent consignés dans le rapport du Bureau international des poids et mesures qui figure au chapitre VI. Les figures 26 à 28, pl. IV, reproduisent quelques photographies prises à l'intérieur du tunnel pendant les instants de repos qui coupaient les opérations de la mesure.

2. — Section de la base entre les repères n° III et I.

Au moment précis où la deuxième équipe sortait de la galerie de direction, le 23 mars au matin, la neige se mit à tomber avec abondance, et occasionna quelques difficultés dans le repérage sur le terme n° III. La traversée du Rhône nécessitant une manœuvre délicate, et à laquelle le personnel n'était pas encore préparé, il ne fallait pas songer à l'effectuer le même jour. Le lendemain, 24 mars, le temps s'étant éclairci, on reprit le travail dès le matin. Des équipes d'ouvriers déblayèrent la neige autour des

¹ Le 20 mars on n'a pu, en raison de l'heure avancée, comparer entre eux que les fils n° 98 et 99.

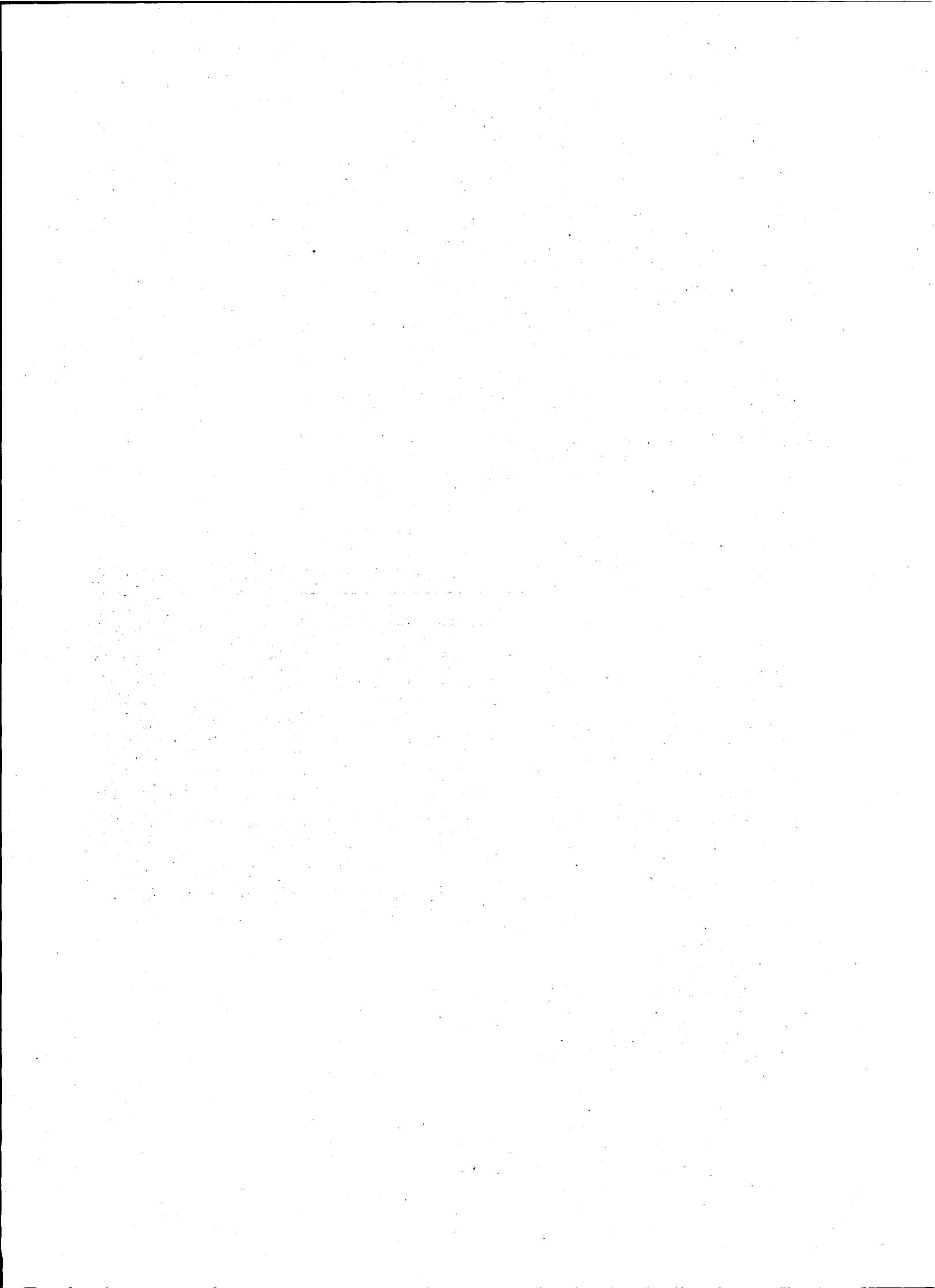
LE COMPAREUR DE 24 MÈTRES A BRIGUE



FIG. 24. — Le comparateur, vu de l'est.



FIG. 25. — Enroulage des fils.



DANS LE TUNNEL

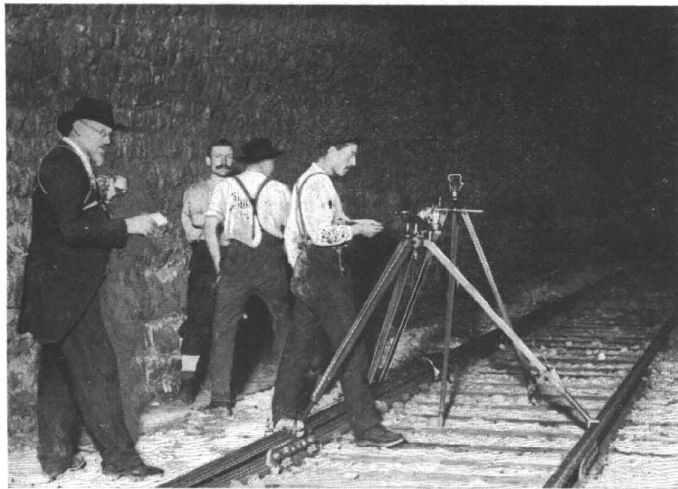


FIG. 26. — Groupe de mesure pendant un repos.

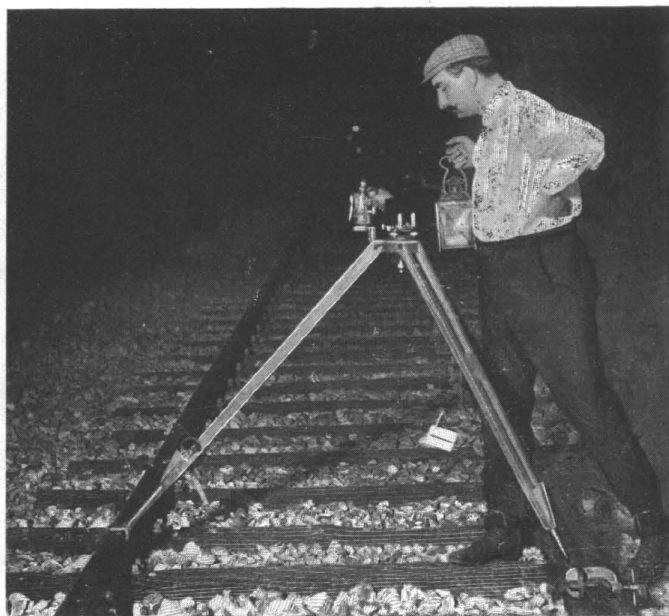


FIG. 27. — Chef du groupe de pose de repères mobiles.



FIG. 28. — Station de théodolite pour l'alignement.



repères et sur la bande de terrain qui s'étend entre la berge droite du Rhône et l'observatoire de Brigue. La texture de ce terrain d'alluvion est peu favorable aux mesures ; il se compose de galets et de cailloux roulés, irrégulièrement amoncelés, et séparés par des fossés plus ou moins étendus.

La ligne de la base avait été, chose heureuse, piquetée, en s'aidant du théodolite, avant la chute de neige, ce qui a sensiblement simplifié le travail. On avait aussi mesuré approximativement une distance de 72 mètres entre le repère n° III et la rive droite, et marqué ainsi l'emplacement du deuxième repère mobile. Le terrain étant particulièrement mauvais à cet endroit, on avait apporté quelques madriers pour établir une plateforme. (Voir fig. 31, pl. VI).

Dans les opérations préliminaires, on avait amené, dans l'alignement de la base, une corde que l'on avait déroulée sur le pont, en aval, et que l'on avait transportée tendue au-dessus du Rhône, en la portant le long des deux berges. Mais cette corde avait été repliée, et l'épaisse couche de neige dont les berges étaient recouvertes rendait la répétition de la même manœuvre assez pénible. On préféra donc jeter la ligne, attachée à une pierre, aussi loin que l'on put vers la rive droite, et un ingénieur entra dans l'eau, heureusement peu profonde à cette époque de l'année, pour la reprendre et la faire passer. La ligne était constituée par une corde tressée, de manière à n'imposer aucune torsion au fil. Le fil, porté sur son tambour, fut attaché à la corde et déroulé lentement par une traction régulière. Puis il fut accroché, sur les deux rives, aux cordes de tension chargées de 10 kg. Une deuxième charge, égale, fut accrochée aux cordes, simultanément sur les deux rives, et abandonnée lentement sur un signal convenu. Le poids total était ainsi de 20 kg., ce qui laissait, pour le fil de 72 mètres, une flèche de 70 centimètres environ.

Afin de réduire le dommage au minimum dans le cas où, par une fausse manœuvre, ou par la rupture d'une corde ou d'une attache, le fil aurait été brusquement abandonné à une extrémité, on avait construit des piliers peu élevés, constitués par des briques ou des pierres, et qui, arrivant à une petite distance des poids, auraient limité leur chute. De plus, des cordes de sûreté, attachées aux porte-mousquetons, repassaient par dessus les appuis des piquets-tenseurs, et étaient tenues en main sans aucune tension. (Voir fig. 29 et 31, pl. V, et VI).

Une ligne téléphonique avait été établie par dessus le Rhône ; elle servait à transmettre toutes les indications qui n'étaient pas relatives aux manœuvres ordinaires. Celles-ci, au contraire, étaient commandées par des signaux très simples.

L'action des frottements, dans le cas d'un fil de grande longueur sous forte charge n'étant pas négligeable, il est essentiel d'en éliminer l'effet sur le résultat, en opérant par séries de lectures consécutives à des déplacements alternés dans les deux sens.

C'est ainsi que l'on a opéré dans la mesure à travers le Rhône. Chacun des obser-

vateurs a effectué d'abord 10 lectures, en déplaçant les réglettes de droite à gauche, puis 10 autres, après des mouvements de sens inverse. Les lectures de chaque poste étaient inscrites respectivement par les deux secrétaires, et, après l'achèvement de la mesure, les nombres furent échangés à l'aide du téléphone.

Cette mesure étant achevée, le personnel passa sur la rive droite, à l'exception de deux ingénieurs, restés pour la garde du fil.

Au sujet de la mesure jusqu'au repère n° II, une seule circonstance mérite d'être signalée. Ce repère, situé au haut d'une pente assez raide, descendant vers le terrain d'alluvion à cailloutis qui constitue ici la rive droite du Rhône, aurait été d'un accès très difficile pour un fil court ou pour un ruban. Si donc le raccordement avait été fait sur ce repère, l'opération aurait été peu précise. On a donc préféré mesurer, à partir des deux extrémités, des portées de 24 mètres, et faire le raccordement dans un court espace de terrain formant terre-plein au milieu des alluvions. C'est ainsi que les difficultés de cette mesure ont été réduites autant qu'il était possible.

La mesure de la courte distance comprise entre le repère n° II et l'observatoire de Brigue (repère n° I) nécessitait un raccordement sous une assez forte pente et entraînait quelques difficultés. Il parut donc prudent, pour ne pas compromettre le succès de la deuxième mesure à travers le Rhône et les alluvions, de procéder à celle-ci sans arrêt, afin de terminer avant la nuit, et de remettre la mesure de la dernière et courte section au lendemain. On reprit donc, à partir du repère n° II, la détermination en sens inverse, et on termina par une nouvelle mesure avec le fil de 72 mètres.

Outre la neige, la basse température et le mauvais terrain, les opérations faites dans la journée du 24 mars ont été rendues difficiles par un vent qui, à certains moments, a soufflé avec une assez grande violence. Il ne semble pas, toutefois, que son action sur les fils ait été bien sensible; en revanche, dans les mesures faites avec le ruban, celui-ci fouettait fortement.

Le vent obligea aussi à protéger complètement, comme on l'avait déjà fait dans le tunnel, à l'aide d'un tube formé de deux demi-cylindres rapprochés, le fil à plomb, dans la mise en place du trépied au-dessus du terme n° III. On put, grâce à cette précaution, obtenir le repos complet de la pointe au-dessus de la croisée des traits. Une vérification faite au retour n'obligea qu'à une retouche insignifiante du goujon.

L'ensemble des difficultés rencontrées dans la mesure de la section entre les repères n° II et III a rendu le travail d'une extrême lenteur. La nécessité de balayer les emplacements des repères mobiles, de faire un long détour pour passer d'une rive du Rhône à l'autre, l'établissement de la ligne à travers le fleuve, la mesure dans les alluvions et à la traversée du Rhône, enfin l'enroulage du fil de 72 mètres et l'enlèvement de tout le matériel exigèrent un labeur ininterrompu de huit heures environ. Les figures 29 à 32 des pl. V et VI, dont quelques-unes ont déjà été signalées plus haut, représentent plu-

sieurs vues photographiques prises pendant cette opération, qui a offert un intérêt tout spécial.

La courte section entre les repères n^{os} II et I a été mesurée le matin du 25 mars au moyen du fil n^o 64.

3. — Coût de la mesure.

La mesure de la base du tunnel du Simplon a comporté une série de dépenses d'ordres divers que nous pouvons classer sous trois rubriques différentes : 1^o acquisition du matériel nécessaire, 2^o frais divers pour les préparatifs et 3^o coût de la mesure elle-même, en y comprenant le traitement et les frais de voyage de tout le personnel employé pendant la période du 15 au 25 mars.

1 ^o Instruments :	
Fils d'invar.	Fr. 816,90
Appareils divers	» 2815,90
Lampes à acétylène	» 191,55
<hr/>	
Coût des appareils	Fr. 3824,35
2 ^o Frais d'impression et dépenses diverses.	» 714,70
3 ^o Frais de voyage et traitement du personnel de la mesure	» 9156,90
<hr/>	
	Fr. 13695,95

Cela fait environ 680 francs par kilomètre mesuré deux fois. Mais il convient évidemment de retrancher de ce total le prix des appareils, et alors *le coût d'une double mensuration d'un kilomètre* revient à **490 francs** environ.

Les dépenses pour la mesure des trois bases de la triangulation suisse, mesurées en 1880 et 1881, ont ascendé au chiffre total de 37 600 francs¹. Cela fait, en moyenne, 4620 francs par kilomètre mesuré deux fois. On voit ainsi que la nouvelle méthode de la mesure rapide des bases par les fils d'invar, même dans les conditions difficiles et relativement onéreuses où nous l'avons appliquée au Simplon, coûte de neuf à dix fois moins que les méthodes employées précédemment.

¹ *Le réseau de triangulation suisse, vol. III; La mensuration des bases, p. 86.*

CHAPITRE V

CALCULS ET RÉSULTATS

1. — Calcul préliminaire.

Un premier calcul approximatif de la longueur de la base a été fait pendant la mesure et immédiatement après son achèvement. Ce calcul avait pour but de rechercher si quelque forte divergence ne se manifesterait pas entre les deux mesures d'une même section. On a calculé à cet effet, pour toutes les portées, la moyenne des différences des lectures entre la réglette de droite et celle de gauche. Ces différences, ajoutées à la longueur du fil entre les zéros des réglettes, longueur réduite d'ailleurs d'après l'équation du fil, fournissaient la distance entre les repères mobiles; la somme de ces distances d'un repère fixe ou de contrôle au suivant donnait la longueur de chaque section. Dans ce calcul préliminaire la réduction de la pente avait été négligée pour la longue section sur la voie rectiligne à travers le tunnel, entre les repères n° 1 et n° 10, puisqu'elle était la même pour les deux mesures. Cette vérification préliminaire n'a révélé aucune discordance fâcheuse entre les deux opérations d'aller et de retour.

Le calcul définitif, comportant toutes les réductions, a été exécuté par M. M. Knapp, ingénieur de la Commission géodésique suisse. Le présent chapitre contient le résumé de ce travail minutieux auquel cet ingénieur s'est voué avec zèle et persévérance pendant de longs mois.

2. — Calcul des longueurs des portées et des différentes sections de la base.

Pour former les moyennes des différences entre les lectures de droite et de gauche pour chaque portée, le calcul a été repris et soigneusement exécuté. Pour chacune des portées on a fait la preuve, en vérifiant que la somme des lectures de droite

SECTION DE LA BASE ENTRE LES REPÈRES N^{os} I ET III

(VUES PRISES DE LA RIVE GAUCHE DU RHÔNE)



FIG. 29. — Station au repère N^o III de l'extrémité sud du fil de 72 mètres.

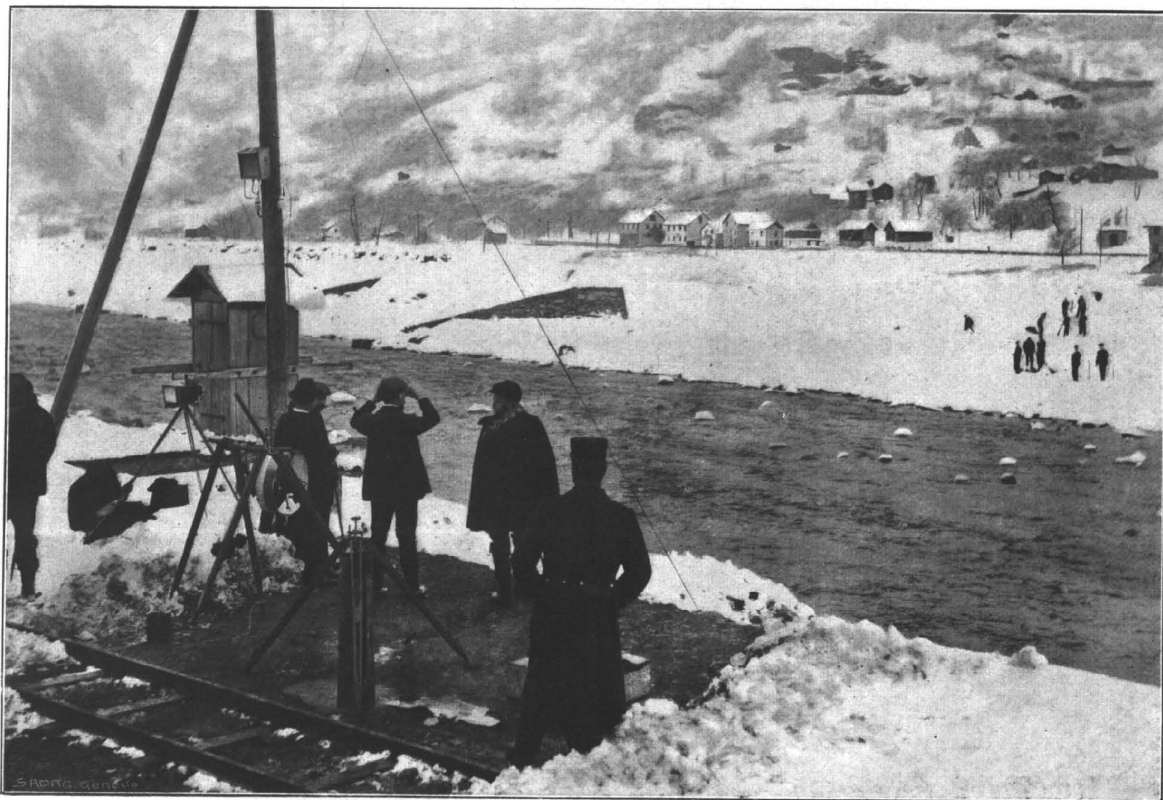
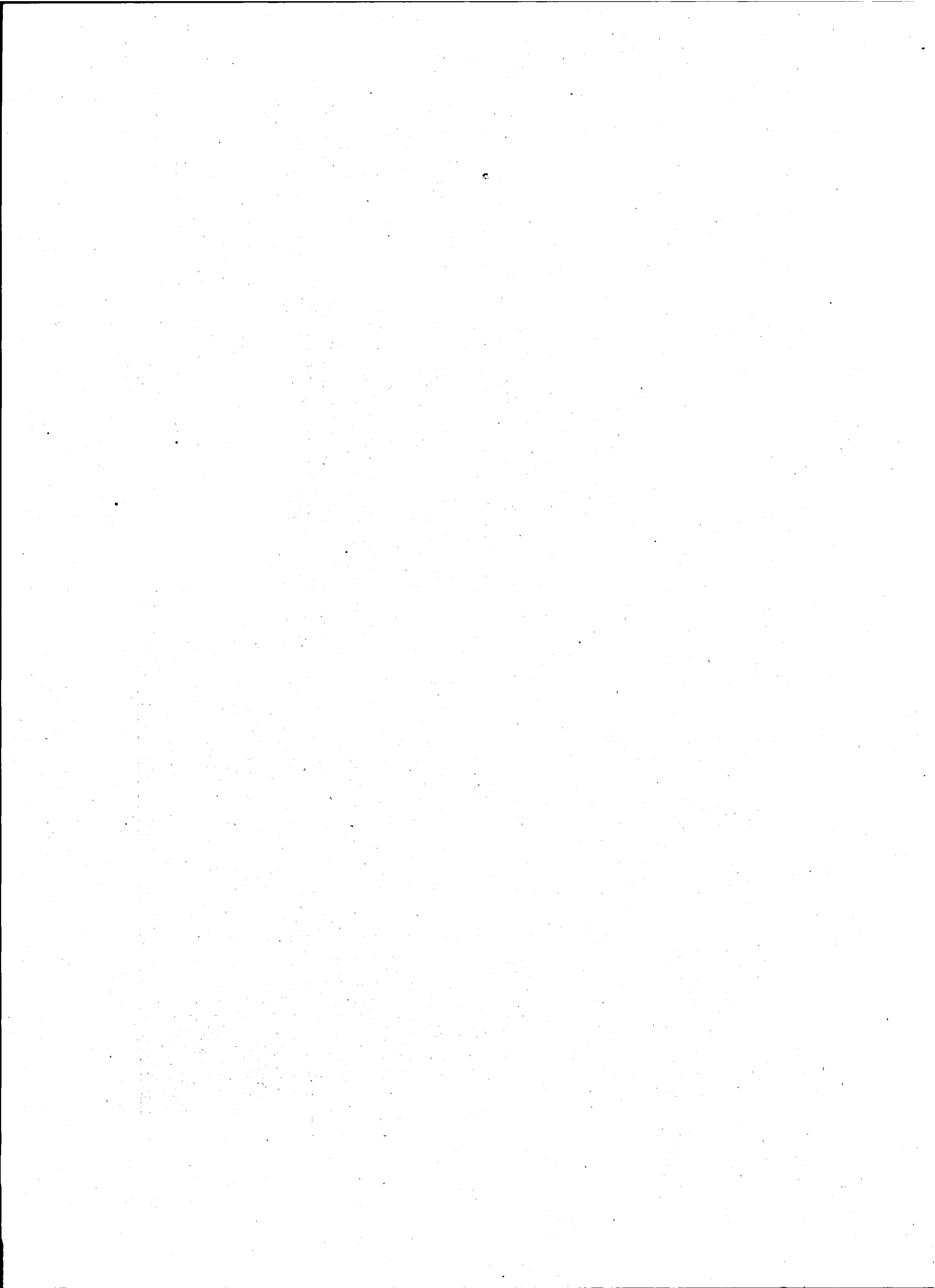


FIG. 30. — Vue générale de la section de la base.



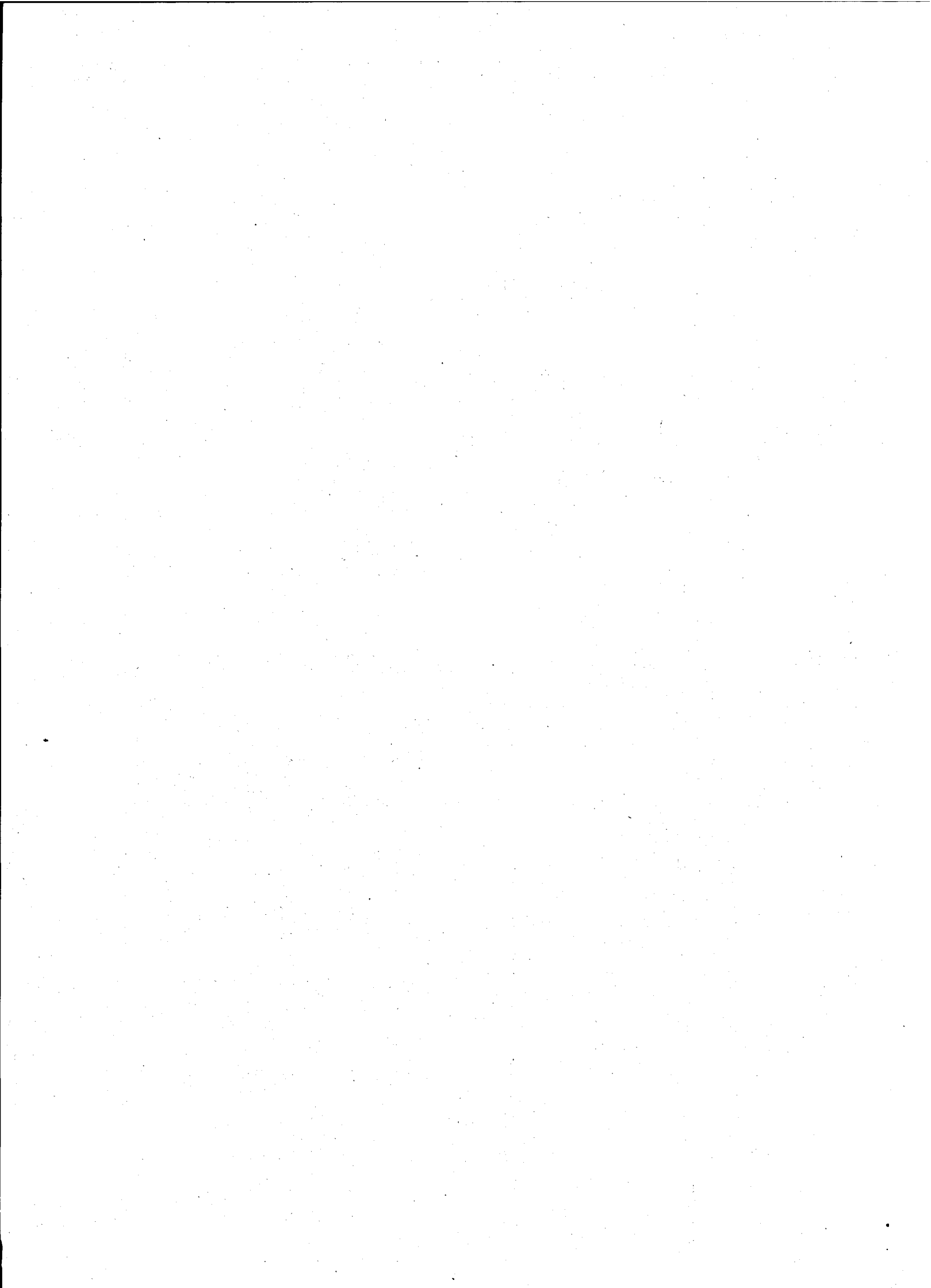
SECTION DE LA BASE ENTRE LES REPÈRES N^{os} I ET III
(VUES PRISES DE LA RIVE DROITE DU RHÔNE)



FIG. 31. — Station de l'extrémité nord du fil de 72 mètres.



FIG. 32. — Vue générale de la portée du fil de 72 mètres.
(A droite la porte d'entrée de la galerie de direction nord).



moins la somme des lectures de gauche donnait la somme des différences entre les lectures simples. Les différences de lectures qui s'écartaient de plus de $\pm 0^{\text{mm}},3$ de la moyenne ont été rejetées. En voici un exemple :

Portée 476. Direction Brigue-Iselle	Lectures		
	gauche	droite	$d - g$
	23,1	19,2	— 3,9
	(31,1)	(27,9)	(— 3,2 rejetée ¹)
	37,0	33,1 _s	— 3,8 _s
	44,5	40,5	— 4,0
	52,0	48,0	— 4,0
	56,9	52,8	— 4,1
Somme	213,5	193,6 _s	— 19,8 _s
Moyenne	— 19,8 _s : 5 = — 3,97		

Les moyennes ainsi obtenues représentent le nombre de millimètres à ajouter à la longueur du fil mesurée entre les zéros des réglottes sous une tension de 10 kg. Elles figurent au tableau I dans la 5^{me} colonne sous la désignation : « *Base moins Fil* » (Base—Fil.)

La 1^{re} colonne du tableau I (p. 48 à 67) donne les numéros d'ordre des portées. La numérotation va de 1 à 828 pour les portées entre les repères fixes n^{os} III et V. Entre les repères fixes n^{os} III et I, les portées sont désignées par les lettres de *a* à *n*. Les indications *bis*, *ter* se rapportent à des portées partielles mesurées avec le ruban d'acier et le fil de 8 m.

Dans la 2^{me} colonne, qui indique les noms des observateurs, on a introduit les abréviations suivantes :

Équipe I : Mü = Müller	Équipe II : Ma = Maudet	Équipe III : N = Niethammer
We = Weber	Mo = Mouttet	K = Knapp
Ml = Morel.		

La 3^{me} colonne fournit l'indication des températures observées aux thermomètres ; et la 4^{me} colonne donne les corrections qui doivent être appliquées à la longueur de chaque portée pour tenir compte de l'équation du fil et de la température.

D'après le rapport très détaillé du Bureau international des poids et mesures, figurant au chapitre VI, les longueurs des fils et leurs coefficients de dilatation ont les valeurs suivantes :

		Longueur à 15°.	Coefficient de dilatation.	Tension kg.
Fil	64	24 ^m ,00064	(+ 0,793 + 0,00016 <i>t</i>) × 10 ⁻⁶	10
	98	23 ^m ,99995 _s	»	10
	99	23 ^m ,99925	»	10
	100	72 ^m ,00115	»	20
	83	8 ^m ,00003	»	10
Ruban		3 ^m ,99915 _s	+ 0,5 × 10 ⁻⁶	10

¹ La deuxième comparaison contient évidemment une erreur dépassant de beaucoup celle que pouvaient commettre les observateurs. Il est probable que le secrétaire aura mal compris le chiffre annoncé par l'un des observateurs, (peut-être 27,9 pour 27,2?). Dans un cas semblable, on emploie plus de temps à faire répéter l'indication qu'à faire exécuter une lecture supplémentaire.

C'est au moyen de ces indications qu'on a établi le tableau suivant pour les calculs de réduction :

Tempér.	Fil 64.		Fil 98.		Fil 99.		Fil 100.		Fil 83.		Ruban.	
	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm	m	mm
- 1°	24	+ 0,33 ₅	24	- 0,35 ₀	24	- 1,05 ₅	72	+ 0,23 ₃	8	- 0,07 ₂	4	- 0,87 ₄
0		35 ₄		33 ₁		1,03 ₈		29 ₁		06 ₆		87 ₂
+ 1		37 ₈		31 ₂		1,01 ₇		34 ₈		05 ₀		87 ₀
2		39 ₂		29 ₃		0,99 ₃		40 ₅		05 ₃		86 ₈
3		41 ₁		27 ₄		97 ₉		46 ₃		04 ₆		86 ₆
4		43 ₀		25 ₅		96 ₀		52 ₀		04 ₀		86 ₄
5		44 ₉		23 ₆		94 ₁		57 ₇		03 ₄		86 ₂
6		46 ₈		21 ₇		92 ₂		63 ₄		02 ₇		86 ₀
7		48 ₇		19 ₈		90 ₃		69 ₁		02 ₁		85 ₈
8		50 ₆		17 ₉		88 ₄		74 ₆		01 ₅		85 ₆
9		52 ₅		16 ₀		86 ₅		80 ₆		00 ₈		85 ₄
10		54 ₄		14 ₁		84 ₆		86 ₃		- 0,00 ₂		85 ₂
11	24	+ 0,56 ₃	24	- 0,12 ₂	24	- 0,82 ₇	72	+ 0,92 ₀	8	+ 0,00 ₄	4	- 0,85 ₀
12		58 ₃		10 ₂		80 ₇		97 ₈		01 ₁		84 ₈
13		60 ₂		08 ₃		78 ₈		1,03 ₅		01 ₇		84 ₆
14		62 ₁		06 ₄		76 ₉		1,09 ₃		02 ₄		84 ₄
15		64 ₀		04 ₅		75 ₀		1,15 ₀		03 ₀		84 ₂
16		65 ₉		02 ₆		73 ₁		1,20 ₈		03 ₆		84 ₀
17		67 ₈		- 0,00 ₇		71 ₂		1,26 ₆		04 ₃		83 ₈
18		69 ₇		+ 0,01 ₂		69 ₃		1,32 ₂		04 ₉		83 ₆
19		71 ₇		03 ₂		67 ₃		1,38 ₀		05 ₆		83 ₄
20		73 ₆		05 ₁		65 ₄		1,43 ₈		06 ₂		83 ₂
21	24	+ 0,75 ₅	24	+ 0,07 ₀	24	- 0,63 ₅	72	+ 1,49 ₅	8	+ 0,06 ₈	4	- 0,83 ₀
22		77 ₄		08 ₀		61 ₅		1,55 ₃		07 ₃		82 ₈
23		79 ₃		10 ₈		59 ₇		1,61 ₄		08 ₁		82 ₆
24		81 ₃		12 ₃		57 ₇		1,66 ₈		08 ₈		82 ₄
25		83 ₂		14 ₇		55 ₈		1,72 ₆		09 ₄		82 ₂
26		85 ₁		16 ₆		53 ₉		1,78 ₃		10 ₀		82 ₀
27		87 ₀		18 ₅		52 ₀		1,84 ₁		10 ₇		81 ₈
28		89 ₀		20 ₅		50 ₀		1,89 ₀		11 ₃		81 ₆
29		90 ₉		22 ₄		48 ₁		1,95 ₀		12 ₀		81 ₄
30		92 ₈		24 ₃		46 ₂		2,01 ₄		12 ₆		81 ₂

Dans le tableau I, les corrections indiquées dans la 4^{me} colonne ont été généralement calculées pour dix portées à la fois, en prenant la moyenne des températures ob-

servées. C'est seulement en dehors du tunnel ou dans les galeries de direction, là où les changements de température ont été plus considérables, que l'on a indiqué la correction pour chaque portée.

Les 6^{me} et 7^{me} colonnes suivantes ne figurent au tableau I que pour les sections du commencement et de la fin de la mesure. Elles donnent les indications et la réduction relatives à la pente. Ces réductions ont été calculées d'après le tableau II de la publication de MM. Benoit et Guillaume sur « la mesure rapide des bases¹. »

Pour les sections mesurées sur la voie rectiligne du tunnel, ces colonnes font défaut. La réduction relative à la pente est la même pour la mesure d'aller et pour celle du retour ; elle sera donnée plus loin dans le tableau II. Cette différence entre les sections du tunnel proprement dit et celles, beaucoup plus courtes, des galeries de direction et de l'extérieur, nous a amenés à disposer le tableau I de deux façons différentes. Pour les sections du commencement et de la fin de la mesure, il n'y a qu'une série de portées par page ; pour les sections du tunnel, il y en a deux.

En ajoutant à la longueur normale de 24 m. les corrections de la 4^{me} et de la 6^{me} colonne (cette dernière seulement pour les sections situées en dehors de la voie rectiligne), on obtient les longueurs figurant dans la 8^{me} colonne dite des « portées réduites ». Cette colonne porte aussi la mention « sommes corrigées », mention qui a été conservée seule pour les sections de la voie (6^{me} colonne). Nous avons trouvé en effet inutile de donner les longueurs de chacune des portées de cette longue section comprise entre les repères de contrôle n^{os} 1 et 10 ; et nous ne faisons figurer que celles des sommes de dix portées. L'avant-dernière colonne (9^{me} des tableaux des sections courtes) fournit par la sommation des portées réduites la longueur de la section. Pour les sections de la voie rectiligne du tunnel, qui sont données chacune en deux séries sur une même page, la longueur totale est indiquée au bas de la page. La dernière colonne (10^{me} ou 7^{me}) est réservée aux remarques diverses, extraites pour la plupart des carnets d'observation.

¹ Paris, Gauthier-Villars, 1906, p. 96 à 100 de la troisième édition.

SECTIONS [I-II-III-I]. ALLER.

TABLEAU I

FILS N^{os} 64,99,100,98.

Portée N ^o	Observateurs. gauche droite	Temp.	Correct.	Base—Fil.	Pente. Valeur.	Pente. Correct.	Portées réduites ou sommes corrigées.	Longueur d'un repère à l'autre.	Remarques.
				mm	‰	mm	mm	mm	
									Observatoire de Brigue. Repère fixe n ^o I.
n.	Mü - N	1,7	-0,85	3 916,38	28,75	- 1,62	3 913,91		Ruban.
m.		1,3	-0,81	3 746,44	100,00	- 1,87	3 743,76		Ruban.
l.			+0,38	- 19,04	59,25	-12,02	23 939,32	31 596,99	Fil 64.
									Repère fixe n ^o II.
k.	N - Mü		-1,02	76,36	26,80	- 8,61	24 066,73		Fil 99.
i.			-1,02	- 53,31	31,25	-11,71	23 933,96		
h.			-1,02	63,41	1,80	- 0,04	24 062,35		
g.			-1,02	- 14,60	33,10	-13,14	23 971,24		
f.		0,3	-1,02	- 4,20	5,45	- 0,36	23 994,42		
e.			-1,02	35,90	11,50	- 1,59	24 033,29		
d ^{bis}			-0,34	1 567,05	56,50	- 2,49	1 564,22		Ruban.
d		1,2	-1,02	65,59	1,75	- 0,04	24 064,53		Fil 99.
c.			-1,02	24,36	2,20	- 0,06	24 023,28		
b.			-1,02	16,15	3,35	- 0,14	24 014,99		
							217 729,01		
a.	N - Mü - N	1,7 1,3	+0,38	- 11,96	54,30	-105,92	71 882,50	289 611,51	{ Traversée du Rhône. { Fil 100.
1	We - Mü	3,7		0,79	0,90	- 0,01			Repère fixe n ^o III. Fil 98.
2				20,13	7,25	- 0,63			
3				12,83	0,00	0,00			
4				- 4,26	7,50	- 0,68			
5		9,8		1,28	0,05	0,00			
6				- 1,32	10,25	- 1,26			
7				- 14,02	0,30	0,00			
8				- 8,43	4,90	- 0,29			
9		15,7		- 20,37	5,00	- 0,30			
			-1,51	- 13,37		- 3,17	215 981,95		
9 ^{bis}			-0,65	(-)3 080,85	2,90	- 0,01	- 3 080,19	212 901,76	Ruban.
10	We - Mü		-0,01	- 7,32	1,50	- 0,03	23 992,64		Repère n ^o 1. Fil 98. Mesure sur la voie.
11				18,81					
12				0,63					
13				6,31					
14	Mü - We	16,8		3,38					
15				6,70					
16				10,80					
17				8,07					
18				1,50					
19				10,12					
20		16,7		13,64					
			-0,11	+ 79,96			240 079,85		
							264 072,49		

SECTION [1-2]. ALLER. FIL N° 98. TABLEAU I SECTION [1-2]. ALLER. FIL N° 98.

Portée	Observateurs. g. d.	Temp.	Correct.	Base-Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.	Portée	Observateurs. g. d.	Temp.	Correct.	Base-Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.
21	Mü - We			6,58	264 072,49		61	We - Mü			12,11	1 224 360,66	
22	We - Mü			8,85			62				— 2,52		
23		16°,8		3,69			63		19°,8		8,16		
24				13,06			64				10,73		
25				5,76			65				1,81		
26				4,81		Chambre kil. 1.	66				8,46		
27				10,55			67				5,68		
28				1,54			68				11,32		Chambre kilom. 2.
29				7,22			69		19,6		5,83		
30		17,7		10,54			70				3,89		
			—0,03	+72,60	240 072,57					+0,45	+65,47	240 065,92	
31	Mü - We			14,43			71	Mü - We			12,84		
32				11,37			72				13,17		
33				5,66			73		19,8		3,76		
34				6,82			74				12,44		
35				7,97			75				5,50		
36				2,55			76				10,19		
37				4,75			77				14,76		
38				12,75			78				9,33		
39				9,69			79				1,38		
40		18,6		7,55			80		20,6		16,49		
			+0,24	+83,54	240 083,78					+0,55	+99,86	240 100,41	
41	We - Mü			10,09			81	We - Mü			9,02		
42				7,01			82				11,45		
43				2,79			83				1,65		
44		18,3		2,11			84		20,8		10,24		
45				10,31			85				9,70		
46				7,11			86				9,24		
47				— 3,60			87				12,49		
48				5,54			88				— 1,28		
49				15,61			89				22,40		
50		19,1		7,19			90	{ We - Mü Ma - Mo	21,1		6,02		Changement d'équipe.
			+0,26	+64,16	240 064,42					+0,70	+90,93	240 091,63	
51				15,31			91	Ma - Mo			4,30		
52	Mü - We	18,9		6,42			92				17,03		
53				4,28			93				0,77		
54				2,54			94				10,01		
55				0,64			95				5,64		
56				— 0,81			96				— 0,68		
57				14,16			97				30,78		
58				4,40			98				13,81		
59		19,6		10,17			99		21,1		19,23		
60				9,93			100				—31,60		Repère n° 2.
			+0,36	+67,04	240 067,40					+0,72	+69,29	240 070,01	
					1 224 360,66								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 1 au repère de contrôle n° 2 = 2 184 688^{mm}, 63.

SECTION [2-3]. ALLER. FIL N° 98. TABLEAU I SECTION [2-3]. ALLER. FIL N° 98.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.
												1 200 501,44	
101	Me-Mo Mo-Ma	21°,7		40,44			151	Ma-Mo	23°,8		2,40		
102				- 2,68			152				8,86		
103			20,06			153				16,33			
104			3,55			154				14,78			
105			- 5,45			155				0,74			
106			8,51			156				12,04			
107			16,51			157				14,54			
108			- 0,62			158				5,39			
109	22,6			18,06			159			23,7		7,68	
110				6,52			160					17,34	
			+0,93	+104,90	240 105,83				+1,24	+100,10	240 101,34		
111	Ma-Mo	23,3		12,96			161	Mo-Ma	24,1		11,80		
112				10,25			162				2,24		
113				14,27			163				19,11		
114				6,50			164				9,48		
115				14,61			165				0,46		
116				2,68			166				6,74		
117				12,18			167				15,28		
118				14,38			168				9,46		
119			22,6		14,09					169	23,8		8,28
120					- 2,27					170			16,74
			+1,08	+ 99,65	240 100,73				+1,28	+ 99,59	240 100,87		
121	Mo-Ma	22,8		13,49			171	Ma-Mo	23,9		3,43		
122				2,06			172				5,62		
123				17,37			173				24,00		
124				13,22			174				14,97		
125				-10,09			175				- 3,34		
126				21,00			176				- 0,17		
127				11,92			177				22,70		
128				1,72			178				4,24		
129			22,6		14,01					179	24,4 24,5		12,96
130					0,74					180			18,61
			+1,04	+ 85,44	240 086,48				+1,34	+103,02	240 104,36	Repos.	
131	Ma-Mo	22,8		18,88			181	Mo-Ma	24,3		3,02		
132				4,11			182				5,55		
133				15,93			183				23,00		
134				2,47			184				3,21		
135				12,69			185				6,72		
136				- 2,79			186				14,57		
137				16,52			187				7,80		
138				10,77			188				17,86		
139			22,9		- 4,08					189	24,7		6,94
140					18,01					190			21,18
			+1,04	+ 92,51	240 093,55				+1,38	+109,85	240 114,23		
141	Mo-Ma	23,3		20,69			191	Ma-Mo	25,1		- 7,96		
142				0,19			192				12,00		
143				23,73			193				19,93		
144				3,45			194				10,89		
145				9,12			195				1,10		
146				3,18			196				4,23		
147				9,45			197				8,97		
148				11,87			198				13,44		
149			23,3		15,79					199	24,9		12,95
150					16,24					200			19,07
			+1,14	+113,71	240 114,85				+1,47	+ 94,62	240 096,09	Repère n°3.	
					1 200 501,44								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 2 au repère de contrôle n° 3 = 2 401 015^{mm}, 33.

SECTION [3-4]. ALLER. FIL N° 98. TABLEAU I SECTION [3-4]. ALLER. FIL N° 98.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
201	Mo - Ma	25° 4		- 0,49			251	N - K	26° 8		20,44	1 200 522,49	
202				5,80		252				15,64			
203				15,28		253				- 3,18			
204				14,64		254				7,85			
205				10,80		255				5,55			
206				1,32		256				6,40			
207				22,45		257				13,97			
208				0,78		258	{ 27,0 26,8			12,81			
209			25,5	8,88		259				10,89			
210				24,79		260				12,45			
			+1,55	+104,25	240 105,80			+1,83	+102,82	240 104,65			
211	Ma - Mo	25,8		- 0,21			261	K - N	26,8		- 8,81		
212				13,45		262				14,85			
213				- 1,00		263				5,81			
214				17,52		264				8,37			
215				13,04		265				12,38			
216				6,21		266				7,60			
217				13,08		267				12,80			
218				8,98		268	27,1			20,31			
219			25,6	11,77		269				12,25			
220				14,24		270				9,15			
			+1,60	+97,08	240 098,68			+1,85	+112,33	240 114,18			
221	{ Ma-Mo Mo-Ma	25,8		13,16			271	N - K	27,2		11,02		
222				9,43		272				8,67			
223				14,24		273				6,46			
224				16,77		274				5,91			
225				1,37		275				13,01			
226				9,56		276				9,91			
227				18,08		277				11,47			
228				2,55		278	27,4			15,91			
229			{ Mo-Ma N - K	26,0	10,41					279	9,93		
230					15,26					280	3,81		
			+1,64	+110,83	240 112,47	Changement d'équipe.		+1,91	+ 96,10	240 098,01			
231	N - K	26,1		6,58			281	K - N	27,4		15,42		
232				15,24		282				16,25			
233				- 1,18		283				7,13			
234				5,91		284				10,86			
235				14,41		285				11,38			
236				16,08		286				10,12			
237				9,44		287				15,93			
238				4,63		288	27,6			19,51			
239			26,1	9,02		289				6,21			
240				16,51		290				14,83			
			+1,68	+96,64	240 098,32	Chambre kilom. 6.		+1,95	+127,64	240 129,59			
241	K - N	26,4		7,27			291	N - K	27,8		11,23		
242				14,88		292				24,40			
243				1,31		293				2,90			
244				16,97		294				9,93			
245				11,25		295				16,74			
246				9,67		296				11,68			
247				17,98		297				12,26			
248			26,6	11,33		298	27,8			14,12			
249				13,57		299				8,76			
250				1,23		300				13,25			
			+1,76	+105,46	240 107,22			+2,01	+125,27	240 127,28		Repère n° 4. Repos.	
					1 200 522,49								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 3 au repère de contrôle n° 4 = 2 401 096^{mm}, 20.

SECTION [4-5]. ALLER. FIL N° 98.

TABLEAU I SECTION [4-5]. ALLER. FILS N°s 98 ET 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
301	K - N.	27°,8		18,99	240 140,75		351	Mü - We	27°,8		19,72	240 151,47	
302			16,94	352			19,77						
303			15,58	353			6,79						
304			3,65	354			24,05						
305			25,63	355			4,22						
306			4,73	356			17,27						
307			11,35	357			4,32						
308			13,40	358			18,90						
309			10,52	359			17,26						
310			17,97	360			17,18						
			+1,99	+138,76					+1,99	+149,48			
311	N - K	27,8		16,11	240 128,14	Piquet ten- seur cassé. Chambre kilom. 8. Changement d'équipe.	361	We - Mü	27,8		11,54	240 113,62	
312			13,88	362			17,98						
313			7,97	363			8,16						
314			15,06	364			15,86						
315			13,78	365			15,11						
316			6,18	366			8,95						
317			8,35	367			1,78						
318			23,97	368			+0,20 {38,73						
319			9,04	369			-0,51 {39,36						
320			11,77	370			-1,01 {32,98						
			+2,03	+126,11									
321	We - Mü	27,8		6,77	240 116,82		371	Mü - We	27,8		- 1,60	239 991,54	
322			14,92	372			-10,78						
323			18,27	373			- 3,12						
324			15,64	374			7,76						
325			1,00	375			8,97						
326			25,36	376			-21,59						
327			-10,50	377			- 2,34						
328			15,42	378			14,10						
329			15,96	379			- 0,54						
330			11,99	380			5,74						
			+1,99	+114,83					-5,06	- 3,40			
331	Mü - We	27,8		15,37	240 137,49	Fort courant d'air.	381	We - Mü	27,8		4,38	239 994,69	
332			12,48	382			- 4,16						
333			13,59	383			0,54						
334			18,73	384			4,34						
335			9,96	385			0,87						
336			12,62	386			- 7,79						
337			4,00	387			- 2,82						
338			20,59	388			5,44						
339			15,19	389			- 7,54						
340			12,97	390			6,49						
			+1,99	+135,50					-5,06	- 0,25			
341	We - Mü	27,3		22,02	240 150,53		391	Mü - We	27,8		-10,74	239 999,08	Repère n° 5.
342			18,40	392			4,28						
343			12,22	393			0,90						
344			6,03	394			- 5,20						
345			16,20	395			3,58						
346			9,84	396			- 1,90						
347			8,91	397			- 2,76						
348			25,24	398			4,25						
349			13,58	399			10,49						
350			16,16	400			1,24						
			+1,93	+148,60					-5,06	+ 4,14			
					1 200 673,73						1 200 673,73		

Longueur de la section du repère de contrôle n° 4 au repère de contrôle n° 5 = 2 400 924^{mm}, 13.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.
				mm	mm							mm	mm		
401	We - Mü	27,3			— 6,92			451	Mo - Ma	27,3			— 30,26	1 199 177,95	
402				25,57				452				— 4,14			
403				0,25				453				17,72			
404				— 3 08				454				42,46			
405				— 2,62				455				7,28			
406				11,51				456				5,24			
407				— 11,67				457				10,93			
408				27,1				458				2,77			
409								459				38,36			
410								460				38,19			
			— 5,16	+ 9,07	240 003,91						— 5,20	+ 128,55	240 123,35		
411	Mü - We	26,8			— 0,65			461	Ma - Mo	26,9			38,38		
412				8,45				462				32,54			
413				1,84				463				21,31			
414				18,14				464				20,56			
415				— 55,74				465				18,07			
416				14,59				466				— 1,65			
417				21,54				467				18,19			
418				26,6				468				— 1,74			
419								469				23,12			
420								470				27,46			
			— 5,26	— 25,83	239 968,91						— 5,24	+ 196,24	240 191,00		
421	We - Mü	26,8			— 19,44			471	Mo - Ma	26,8			— 7,21		
422				— 14,44				472				27,09			
423				— 5,97				473				8,44			
424				— 75,91				474				16,27			
425				— 51,69				475				16,10			
426				— 70,70				476				— 3,97			
427				— 59,43				477				21,88			
428				27,6				478				3,58			
429								479				35,96			
430								480				— 14,24			
			— 5,16	— 298,84	239 696,00						— 5,24	+ 103,90	240 098,66		
431	Mü - We				— 3,25			481	Ma - Mo	27,0			20,41		
432				9,41				482				22,08			
433				— 1,36				483				8,18			
434				39,45				484				2,13			
435				— 40,44				485				27,20			
436				— 27,03				486				— 10,84			
437				— 33,64				487				—			
438				— 15,05				488				—			
439				— 34,25				489				19,17			
440								490				32,52			
			— 5,20	— 134,06	239 860,74						— 4,19	+ 120,85	192 116,66		
441	Ma - Mo	26,8			— 39,81			491	Mo - Ma	26,4			15,40		
442				— 26,83				492				5,20			
443				— 47,58				493				30,17			
444				— 37,70				494				29,03			
445				— 45,93				495				— 2,73			
446				— 17,26				496				20,76			
447				— 36,24				497				39,31			
448				27,0				498				15,52			
449								499				12,04			
450								500				20,26			
			— 5,22	— 346,39	239 618,39						— 5,31	+ 184,96	240 179,65		
					1 199 177,95										

Longueur de la section du repère de contrôle n° 5 au repère de contrôle n° 6 = 2 351 887^{mm}, 27.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.
				mm	mm							mm	mm		
														1 177 055,58	
501	Ma - Mo				28,66			551	Mo - Ma				14,52		
502					12,73			552					36,62		
503					10,92			553					19,71		
504		25° 9			9,04			554					15,73		
505					36,72			555		24° 5			29,67		
506					22,30			556					22,51		
507					40,21			557					17,82		
508					11,58			558					30,86		
509					11,44			559					11,19		
510		26,0			18,78			560					18,22		
				-5,39	+202,38	240 196,99						-5,66	+216,85	240 211,19	
511	Mo - Ma				37,31			561	Ma - Mo	24,6			30,51		Chambre kilom. 14.
512					13,18			562					23,81		
513					27,13			563					17,60		
514		26,0			22,17			564					18,73		
515					23,67			565		24,4			27,15		
516					26,06			566					15,40		
517					4,61			567					34,89		
518					37,98		Chambre kilom. 13.	568					17,46		
519					18,44			569					14,07		
520		25,2			22,63			570					26,08		
				-5,47	+233,18	240 227,71						-5,66	+225,70	240 220,04	
521	Ma - Mo				19,17			571	Mo - Ma	23,8			19,84		
522					38,12			572					21,68		
523					13,82			573					28,06		
524							manque.	574					12,64		
525		26,0			16,16			575		23,5			19,06		
526					20,14			576					17,43		
527					39,39			577					17,46		
528					30,32			578					27,43		
529	{ Ma-Mo				12,30			579					9,54		
530	{ Mo-Ma	25,3			21,10		Repos.	580					29,64		
				-4,92	+210,52	216 205,60						-5,85	+202,78	240 196,93	
531	Mo - Ma				12,44			581	Ma - Mo	22,9			12,42		
532		26,0			41,96			582					25,82		
533					34,60			583					14,04		
534					4,00			584	{ Ma-Mo				6,15		Changement d'équipe.
535					17,52			585	{ N - K				20,52		
536		25,7			14,74			586	{ Ma-Mo	22,5			2,61		
537					24,27			587	{ N - K				22,13		
538					25,64			588					11,21		
539					14,76			589					11,97		
540		25,5			23,86			590					15,39		
				-5,45	+213,79	240 208,34						-6,03	+151,26	240 145,23	
541	Ma - Mo				20,84			591	N - K	22,1			1,99		
542					27,26			592					21,78		
543					20,26			593					16,73		
544					30,82			594					20,57		
545		25,0			19,54			595					16,78		
546					16,41			596		22,3			2,24		
547					23,44			597					38,00		
548					27,64			598					1,38		
549					4,84			599					8,81		
550		25,1			31,47			600					6,73		Repère n° 7.
				-5,58	+222,52	240 216,94						-6,12	+138,01	240 131,89	
						1 177 055,58									

Longueur de la section du repère de contrôle n° 6 au repère de contrôle n° 7 = 2 377 960^{mm}, 86.

SECTION [7-8]. ALLER. FIL N° 99.

TABLEAU I

SECTION [7-8]. ALLER. FIL N° 99

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.	
			mm	mm	mm					mm	mm	mm		
601	K - N	21°,6		16,64			651	K - N	20°,1		11,57	1 200 672,57		
602				15,51		Chambre kilom. 45.	652				16,38			
603				17,77			653				18,78			
604				10,01			654				10,99			
605		20,8		24,17			655		19,3		14,48		Repos.	
606				2,68			656				16,81			
607				29,45			657				13,50			
608				12,48			658				17,21			
609				6,36			659				2,66			
610				13,16			660				19,56			
			-6,31	+148,23	240 141,92						-6,60	+141,94		240 135,34
611	N - K	21,1		17,46			661	N - K	19,6		13,67			
612				3,94			662				15,03			
613				25,57			663				21,88			
614				14,47			664				9,96			
615				18,38			665				15,74			
616		20,8		9,97			666		20,3		15,76		Eau tombant sur le fil.	
617				15,33			667				17,88			
618				18,05			668				23,34			
619				12,82			669				-0,87			
620				0,82			670				17,31			
			-6,35	+136,81	240 130,46						-6,54	+149,70		240 143,16
621	K - N	21,1		25,19			671	K - N	20,6		14,80			
622				13,72			672				19,94			
623				14,31			673				18,64			
624				18,54			674				4,69			
625		20,3		16,16			675		20,3		22,34			
626				8,31			676				4,54			
627				19,35			677				16,80			
628				20,71			678				18,99			
629				-2,25			679				6,85			
630				18,38			680				15,17			
			-6,41	+152,42	240 146,01						-6,46	+142,76	240 136,30	
631	N - K	19,6		8,31			681	N - K	20,1		20,35			
632				22,71			682				15,26			
633				25,00			683				7,88			
634				9,39			684				10,87			
635				16,92			685				20,35		Chambre kilom. 47.	
636		19,3		5,87			686		19,8		17,40			
637				13,53			687				4,26			
638				24,85			688				28,62			
639				-2,18			689				-2,78			
640				2,77			690				11,87			
			6,65	+127,17	240 120,52						-6,54	+134,08		240 127,54
641	K - N	19,6		15,21			691	K - N	20,6		14,23			
642				21,27			692				17,33			
643				19,42		Sources. Chambre kilom. 46.	693				11,08			
644				7,58			694				12,89			
645		19,8		16,08			695		19,3		15,17			
646				5,88			696				12,44			
647				27,54			697				11,57			
648				11,76			698				22,70			
649				0,70			699				10,20			
650				14,82				700	K - N			10,14		Repère n° 8. Changement d'équipe.
			-6,60	+140,26	240 133,66							-6,54	+137,75	
					1 200 672,57									

Longueur de la section du repère de contrôle n° 7 au repère de contrôle n° 8 = 2 401 346^{mm}, 12.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.
				mm	mm							mm	mm		
														1 200 655,85	
701	Ml-Mü				20,40			751	Mü-Ml				15,61		
702		19°,6			33,75			752					24,63		
703					— 9,76			753					11,16		
704					17,36			754					9,27		
705					17,73			755					18,06		
706		19,8			4,78			756		15°,8			— 0,21		
707					11,78			757					18,84		
708					26,49			758					23,21		
709					1,85			759					6,31		
710					6,58			760					8,89		
			—6,60		+130,96	240 124,36					—7,35		+135,77	240 128,42	
711	Mü-Ml	18,6			16,19			761	Ml-Mü				20,71		
712					21,12			762		15,7			17,40		
713					9,58			763					9,92		
714					7,20			764					8,25		
715					15,23			765		14,8			14,12		
716		18,3			9,33			766					12,87		
717					12,15			767					16,60		
718					24,64			768					21,63		
719					13,58			769					9,28		Chambre kilom. 19.
720					6,07			770					7,47		
			—6,85		+135,09	240 128,24					—7,46		+138,25	240 130,79	
721	Ml-Mü	17,6			13,45			771	Mü-Ml	14,7			21,42		
722					25,27			772					21,45		
723					2,29			773					11,94		
724					15,33			774					11,82		
725		17,8			11,41			775		14,8			17,09		
726					5,84		Chambre kilom. 18.	776					9,87		
727					21,16			777					15,43		
728					22,28			778					24,24		
729					4,23			779					7,16		
730					5,76			780					8,43		
			—6,99		+127,02	240 120,03					—7,54		+148,85	240 141,31	
731	Mü-Ml				19,55			781	Ml-Mü				16,89		
732		17,6			23,85			782					24,04		
733					9,71			783					11,20		
734					13,31			784					4,71		4 lectures seulement.
735		17,8			11,07			785		12,8			18,42		
736					9,14			786					2,23		
737					18,57			787					20,14		
738					20,25			788					20,07		
739					7,65			789					12,53		
740					13,43			790					2,76		
			—6,99		+146,53	240 139,54					—7,92		+132,99	240 125,07	
741	Ml-Mü	17,6			17,68			791	Mü-Ml				14,20		
742					28,55			792		11,7			24,66		
743					11,50			793					8,94		
744					8,11			794					14,74		
745					14,03			795		12,3			14,78		
746		16,8			17,37			796					6,41		
747					6,48			797					25,35		
748					20,56			798					13,93		
749					18,42			799					4,31		
750					8,06			800					16,83		Repère n° 9. Repos.
			—7,08		+150,76	240 143,68					—8,07		+144,15	240 136,08	
						1 200 655,85									

Longueur de la section du repère de contrôle n° 8 au repère de contrôle n° 9 = 2 401 317^{mm}, 52.

Portée	Observateurs. gauche droite	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Pente. Valeur. ‰	Pente. Correct.	Sommes corrigées ou portées réduites	Longueur d'un repère à l'autre.	Remarques.
			mm	mm		mm	mm	mm	
801	Ml - Mü	10° 7		10,37					
802				17,41					
803				17,11					
804				11,24					
805		9,8		16,09					
806				— 0,06					
807				15,52					
808				25,87					
809				7,75					
810				12,24					
			—8,42	133,54			240 125,12		
811	Mü - Ml			10,16					Chambre kilom. 20.
812		8,7		22,90					
813				6,87					
814				20,91					
			—3,40	60,84			96 057,44	336 182,56	Repère n° 10.
815	Mü - Ml		—0,85	4,91	6,75	— 0,55	24 003,51		La mesure quitte la voie.
816			—0,85	— 20,58	4,70	— 0,26	23 978,31		
817			—0,85	— 8,22	19,45	— 4,54	23 986,39		
818			—0,85	2,60	12,00	— 1,73	24 000,02		
819			—0,85	— 6,20	11,35	— 1,55	23 991,40		
820			—0,85	19,00	2,95	— 0,10	24 018,05		
821	Ml - Mü	10,8	—0,83	1,51	7,35	— 0,65	24 000,03		
822			—0,83	16,55	5,20	— 0,32	24 015,40		
823			—0,83	— 12,93	6,00	— 0,43	23 985,81		
824			—0,83	13,77	5,10	— 0,31	24 012,63		
825			—0,83	— 1,99	5,55	— 0,37	23 996,81		
826			—0,83	11,92	3,55	— 0,15	24 010,94		
							287 999,30		
826 ^{bis}	Ml - Mü		—0,07	333,34	22,80	— 0,09	333,18	288 332,48	Ruban. Repère fixe n° IV.
827	Ml - Mü		—0,83	15,10	1,55	— 0,03	24 014,24		
827 ^{bis}			—0,83	47,19	10,00	— 1,20	24 045,16		
828		10,8	—0,83	— 51,99	29,70	—10,58	23 936,60		Repère fixe n° V.
							71 996,00		Observatoire d'Iselle.
826 ^{bis}	Ml - Mü		—0,07	—(333,34)	22,80	— 0,09	— 333,18		Ruban.
827 ^{ter}			—0,48	—(2 235,58)	5,20	— 0,03	—2 235,07		Ruban.
827 ^{quater}			—0,48	—(2 249,12)	38,70	— 1,68	—2 246,96		Ruban.
							—4 815,21	67 180,79	

Portée.	Observateurs. gauche droite	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Pente. Valeur. ‰	Pente. Correct.	Portées réduites ou sommes corrigées.	Longueur d'un repère à l'autre.	Remarques.
			mm	mm		mm	mm	mm	
828	Mü - MI	10° 8	-0,83	- 52,04	29,70	-10,58	23 936,55		Observatoire d'Iselle. Repère fixe n° V.
827 ^{bis}			-0,83	47,20	10,00	- 1,20	24 045,17		
827			-0,83	15,19	1,55	- 0,03	24 014,33		
							71 996,05		
827 ^{quater}	Mü - MI		-0,48	-(2 249,25)	38,70	- 1,68	- 2 247,09		Ruban.
827 ^{ter}			-0,48	-(2 235,62)	5,20	- 0,03	- 2 235,11		Ruban.
826 ^{bis}			-0,07	-(333,40)	22,80	- 0,09	- 333,24		Ruban.
							- 4 815,44	67 180,61	
826	Ma - Mo	5,4	-0,92	- 76,51	3,40	- 0,14	23 922,43		Repère fixe n° IV.
825			-0,92	- 51,06	1,05	- 0,01	23 948,01		Changement d'équipe.
824			-0,92	55,46	13,85	- 2,30	24 052,24		
823			-0,92	57,78	5,90	- 0,42	24 056,44		
822		6,9	-0,92	26,68	9,60	- 1,11	24 024,65		
821			-0,92	29,42	4,60	- 0,25	24 028,25		
820		7,9	-0,91	54,30	7,40	- 0,66	24 052,73		
819		6,9	-0,91	21,97	6,90	- 0,57	24 020,49		
818		6,3	-0,91	5,21	11,80	- 1,67	24 002,63		Passage de la galerie de direction au tun- nel.
817		5,7	-0,91	- 34,04	11,50	- 1,59	23 963,46		
816			-0,91	23,24	7,60	- 0,69	24 021,64		
815			-0,91	59,92	11,00	- 1,45	24 057,56		
							288 150,53		
815 ^{bis}	Ma			179,84			179,84	288 330,37	Mesuré avec la règle divisée en millimètres.
814	Ma - Mo			12,82					Repère n° 10.
813				15,50					Mesure sur la voie.
812				16,45					
811	Mo - Ma			10,94					Chambre kilom. 20.
			-3,69	55,71			96 052,02		
810	Mo - Ma	6,4		14,86					
809				14,32					
808		7,5		17,86					
807				8,55					
806				12,34					
805				8,15					
804				14,30					
803				18,88					
802				5,52					
801		8,1		24,24					Repère n° 9.
			-8,97	139,02			240 130,05	336 182,07	

SECTION [9-8]. RETOUR. FIL N° 99. TABLEAU I SECTION [9-8]. RETOUR. FIL N° 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.		Sommes corrigées.	Remarques.
				mm	mm							mm	mm		
800	Ma-Mo				15,08			750	N - K	14,7			25,42	1 200. 642, 80	
799					8,52			749					17,13		
798		7°,9			3,24			748					16,53		
797					24,68			747					5,69		
796					12,86			746					23,06		
795					13,34			745					22,18		
794					18,94			744					4,83		
793					10,22			743					14,09		
792		9, 2			19,79			742					15,48		
791					8,76			741					15,76		
				-8, 73	+135,43	240 126, 70						-7, 56	+160,17	240 152, 61	
790	Mo-Ma				11,93			740	K - N	15, 2			16,12		
789					9,98			739					13,58		
788					16,51			738					13,00		
787					15,46			737					19,54		
786	Mo-Ma				10,04			736		15, 8			22,27		
785	K-N				19,62		Changement d'équipe.	735					0,40		
784					7,96			734					18,79		
783					9,24			733					9,90		
782		10, 8			20,87			732					13,37		
781					9,57			731					22,26		
				-8, 31	+131,18	240 122, 87						-7, 40	+148,43	240 141, 03	
780	K - N	10, 7			12,84			730	N - K	16, 2			7,20		
779					18,29			729					10,04		
778					9,49			728					18,88		
777					14,58			727					14,74		Chambre kilom. 13.
776					13,89			726					22,68		
775					26,95			725		16, 8			1,47		
774					3,69			724					19,39		
773					16,07			723					5,56		
772		12, 3			14,42			722					18,52		Eau tombant sur le fil.
771					18,87			721					0,13		
				-8, 17	+149,09	240 140, 92						-7, 21	+118,35	240 111, 14	
770	N - K				9,96			720	K - N	17, 2			16,13		
769					11,86			719					8,95		
768					14,83			718					29,14		
767					14,26			717					16,52		
766					28,52			716					10,74		
765					15,15			715		17, 3			21,16		
764					5,51			714					0,06		
763					10,81			713					17,07		
762		13, 3			15,31			712					5,81		
761					7,85			711					20,80		
				-7, 82	+134,06	240 126, 24						-7, 08	+146,38	240 139, 30	
760	K - N				14,58			710	N - K	17, 6			8,75		
759					20,10			709					13,48		
758					10,99			708					11,03		
757					11,21			707					15,57		
756					8,53			706					2,64		
755					28,22			705		17, 8			35,04		
754					7,59			704					15,08		
753					11,43			703					2,07		
752		14, 8			18,35			702					20,66		
751					2,61			701					16,15		
				-7, 54	+133,61	240 126, 07						-6, 99	+135,19	240 128, 20	Repère n° 8. Repos.
						1 200 642, 80									

Longueur de la section du repère de contrôle n° 9 au repère de contrôle n° 8 = 2 401 315^{mm}, 08.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
700	N - K	18°, 1		2,49			650	K - N	19°, 1		14,86	1 200 676, 95	
699				31,29			649				23,34		
698				3,78			648				— 12,47		
697				20,54			647	K - N We-Mü	17, 8		23,32		Changement d'équipe.
696				20,57		646	16,97						
695		18, 8		7,07		645	13,84						
694				27,42		644	5,90						
693				7,04		643	14,72						
692				14,64		642	18,87						
691				19,54		641	29,32						
			-6, 85	+140,24	240 133, 39							-6, 85	
690	K - N	18, 6		5,77			640	We-Mü			2,40		
689				23,65			639				28,26		
688				5,07			638				— 10,72		
687				17,94			637				9,30		
686				24,16			636				11,88		
685		19, 3		0,08			635		17, 8		14,70		
684				16,30			634				15,28		
683				4,59			633				22,96		
682				17,65			632				13,41		
681				18,88			631				21,98		
			-6, 73	+133,93	240 127, 20						-6, 97	+129,45	240 122, 48
680	K - N	19, 1		17,80			630	Mü-We	17, 6		12,59		
679				29,29			629				33,14		
678				8,37			628				— 15,68		
677				20,52			627				19,99		
676				10,40			626				13,09		
675		19, 8		18,34			625		18, 8		20,60		
674				7,44			624				8,33		
673				16,50			623				13,73		
672				13,74			622				10,96		
671				13,38			621				32,86		
			-6, 65	+139,04	240 132, 39						-6, 89	+149,61	240 142, 72
670	N - K	19, 6		16,39			620	We-Mü	19, 6		— 1,13		
669				30,34			619				38,17		
668				4,06			618				— 12,56		
667				18,71			617				18,78		
666				20,30			616				14,52		
665		19, 3		13,31		Eau tombant sur le fil.	615		19, 8		15,55		
664				15,87			614				17,45		
663				18,50			613				23,03		
662				7,25		Id.	612				— 1,52		
661				23,03			611				30,05		
			-6, 65	+159,64	240 152, 99						-6, 60	+142,34	240 135, 74
660	K - N	18, 6		17,16			610	Mü-We	19, 6		0,07		
659				23,57		Id.	609				43,38		
658				2,27			608				— 14,92		
657				10,59			607				26,00		
656				14,42			606				6,83		
655		18, 8		15,54			605		19, 8		19,86		
654				13,91			604				9,87		
653				17,89			603				17,81		
652				9,62			602				10,06		
651				17,34			601				17,95		
			-6, 79	+137,77	240 130, 98						-6, 60	+136,91	240 130, 31
					1 200 676, 95								Chambre kilom. 15. Repère n° 7.

Longueur de la section du repère de contrôle n° 8 au repère de contrôle n° 7 = 2 401 350^{mm}, 02.

SECTION [7-6]. RETOUR. FIL N° 99. TABLEAU I. SECTION [7-6]. RETOUR. FIL N° 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base—Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.
1 200 922,00													
600	We-Mü	20°,1		8,37			550	Mü-We	23°,6		50,34		
599				41,59			549				37,64		
598				— 20,13			548				— 16,63		
597				31,28			547				35,63		
596				2,24			546				10,96		
595		20,3		15,95			545		23,8		19,50		
594				19,15			544				21,96		
593				10,30			543				33,39		
592				18,72			542				19,63		
591				8,25			541				21,02		
			-6,50	+135,72	240 129,22					-5,83	+233,44	240 227,61	
590	Mü-We	20,6		20,81			540	We-Mü	24,1		18,29		
589				43,07			539				41,24		
588				— 21,06			538				— 2,62		
587				22,40			537				16,51		
586				0,50			536				16,85		
585		20,8		35,72			535		24,8		22,29		
584				4,74			534				12,37		
583				10,82			533				15,43		
582				22,31			532				15,98		
581				12,64			531				— 16,82		
			-6,41	+151,65	240 145,24					-5,69	+173,16	240 167,47	
580	We-Mü	21,1		24,42			530	Mü-We	25,1		26,03		
579				30,34			529				47,58		
578				— 12,07			528				— 13,51		
577				16,81			527				26,15		
576				11,55			526				7,81		
575		21,8		8,92			525		25,8		32,87		
574				15,31			524				—		manque.
573				25,25			523				1,66		
572				7,56			522				32,98		
571				29,07			521				13,51		
			-6,27	+157,16	240 150,89					-4,95	+175,08	216 170,13	
570	Mü-We	22,1		27,49			520	We-Mü			22,44		
569				47,77			519		24,6		26,20		
568				6,45			518				30,40		Chambre kilom. 13.
567				33,78			517				4,78		
566				26,49			516				52,10		
565		22,8		38,11			515				51,47		
564				19,77		Repos.	514		25,3		48,63		
563				30,20			513				57,23		
562				28,78		Chambre kilom. 14.	512				63,86		
561				35,29			511				31,98		
			-6,08	+294,13	240 288,05					-5,58	+388,79	240 383,21	
560	We-Mü	23,1		28,80			510	Mü-We	25,1		78,08		
559				48,40			509				37,75		
558				8,45			508				75,44		
557				25,44			507				51,69		
556				22,93			506				37,95		
555		23,8		25,99			505				36,24		
554				10,62			504				7,58		
553				26,28			503				— 18,27		
552				20,40			502				— 21,13		
551				— 2,82			501				— 42,83		
			-5,89	+214,49	240 208,60					-5,56	+242,50	240 236,94	Repère n° 6.
												2 378 107,36	Mesuré avec échelle mil-
												— 149,00	limétrique.
1 200 922,00													

Longueur de la section du repère de contrôle n° 7 au repère de contrôle n° 6 = 2 377 958^{mm}, 36.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil. mm	Sommes corrigées. mm	Remarques.
501 ^{bis}				+149,00	+ 149,00	Mesuré avec échelle millimétrique.	450	Ma - Mo	26°,5		— 30,70	1 200 633,95	
500	We-Mü	25°,6		67,85			449				— 61,62		
499				63,78			448				— 4,55		
498				76,10			447				— 42,66		
497				46,54			446				— 27,56		
496				54,43			445		26,6		— 46,30		
495				60,07			444				— 32,20		
494		25,8		71,24			443				— 38,54		
493				63,05			442				— 28,04		
492				79,52			441				— 31,76		
491	We-Mü Ma-Mo			55,05		Changement d'équipe.				-5,28	—343,93	239 650,79	
			-5,45	+637,63	240 632,18		440	Mo - Ma	26,8		— 26,24		
490	Ma - Mo	25,6		53,18			439				— 50,08		
489				75,67			438				— 11,18		
488				19,12			437				— 28,05		
487				— 32,54			436				— 24,78		
486				— 28,96			435				— 37,42		
485		25,8		— 51,66			434		27,0		— 6,30		Chambre kilom. 11.
484				1,08			433				— 21,33		
483				— 7,71			432				— 24,34		
482				— 2,94			431				— 0,38		
481				— 7,45						-5,22	—229,34	239 765,44	
			-5,45	+ 17,79	240 012,34		430	Ma - Mo	26,8		55,49		
480	Mo - Ma	26,0		— 21,74			429				— 6,34		
479				68,58			428				— 32,30		
478				14,14			427				— 71,42		
477				26,63		Chambre kilom. 12.	426				78,24		
476				45,48			425				12,62		
475		26,1		43,16			424		24,8		6,48		
474				48,74			423				— 46,66		
473				— 62,94			422				0,42		
472				77,82			421				11,50		
471				70,50						-5,43	+ 8,03	240 002,60	
			-5,39	+310,37	240 304,98		420	Mo - Ma	25,4		6,94		
470	Ma - Mo	26,1		70,71			419				37,58		
469				73,56			418				— 26,47		
468				36,32			417				— 8,35		
467				0,64			416				11,40		
466				— 40,38			415				15,10		
465				— 57,53			414		25,4		3,33		
464				— 33,88			413				— 8,97		
463		26,1		— 40,60			412				11,17		
462				— 51,43			411				11,75		
461				— 25,18						-5,50	+ 53,48	240 047,98	
			-5,37	— 67,77	239 926,86		410	Ma - Mo	25,7		— 6,14		
460	Mo - Ma	26,2		— 42,60			409				22,48		
459				— 73,84			408				— 25,38		
458				— 17,12			407				— 13,90		
457				— 36,40			406				— 12,56		Eau tombant sur le fil.
456				— 26,82			405				— 10,69		
455				— 49,18			404		25,3		— 15,35		
454				— 24,92			403				47,34		
453				— 38,98			402				—		
452				— 51,76			401				—		manquent.
451				— 24,48						-4,38	— 14,20	191 981,42	
			-5,31	—386,10	239 608,59							2 352 082,18	Repère n° 5.
					1 200 633,95		403 ^{bis}			-0,04	— (195,08)	— 195,04	Ruban.

Longueur de la section du repère de contrôle n° 6 au repère de contrôle n° 5 = 2 354 887^{mm}, 14.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
400	Mo - Ma			2,41		Chambre	350	K - N			22,73	1 200 242,30	
399				3,39		Kilom. 40.	349		27°,1		5,47		
398		26°,1		— 32,63		Repos.	348				— 10,87		
397				27,41			347				40,57		
396				— 0,58			346				17,18		
395				10,71			345		26,3		24,42		
394				7,00		Aiguille.	344				5,87		
393				— 22,86			343				8,91		
392		26,1		— 6,50			342				24,80		
391				— 2,70			341				20,63		
			—5,37	— 14,35	239 980,28					—5,26	+159,41	240 154,15	
390	Ma - Mo			18,00			340	N - K			22,19		
389		26,1		— 4,73			339		26,6		— 7,09		
388				— 32,40			338				— 3,85		
387				32,09			337				33,79		
386				— 3,16			336				16,04		
385				2,56			335		26,8		17,75		
384				1,58			334				21,91		
383				— 6,52			333				11,52		
382		26,8		— 12,68			332				16,81		
381				21,02			331				15,68		
			—5,31	+ 15,76	240 010,45					—5,26	+144,75	240 139,49	
380	Mo - Ma	26,6		1,07		Frontière	330	K - N			14,73		
379				— 8,64		Italie-Suisse	329		27,1		12,13		
378				— 15,90			328				— 10,94		
377				16,88			327				26,08		
376				— 23,34			326				28,58		
375				33,18			325				7,99		
374				3,88			324		27,3		12,05		
373	Mo-Ma K - N			— 12,77		Changement d'équipe.	323				14,05		
372		27,3		— 4,96			322				15,56		
371				— 13,63			321				14,55		
			—5,20	— 14,31	239 980,49					—5,16	+134,78	240 129,62	
370	K - N			— 74,82		Aiguille.	320	N - K			12,70		
369				40,21			319		27,6		8,69		
368				30,85			318				— 6,82		Chambre kilom. 8.
367				31,07			317				31,72		
366				18,28			316				13,53		
365				23,38			315				13,66		
364				13,07			314		27,3		21,16		
363				6,48			313				1,70		
362		26,8		23,29			312				17,01		
361				7,01			311				17,49		
			—5,24	+121,82	240 116,58					—5,12	+130,84	240 125,72	
360	N ₂ - K			27,08		Chambre	310	K - N			26,70		
359		27,1		— 2,63		kilom. 9.	309		27,6		5,35		
358				— 10,80			308				— 14,23		
357				34,68			307				32,36		
356				— 19,97			306				25,02		
355				15,03			305				10,56		
354		27,3		24,22			304		27,3		15,98		
353				— 3,58			303				11,39		
352				23,53			302				15,47		
351				19,74			301				21,31		Repère n° 4.
			—5,16	+159,66	240 154,50					—5,12	+149,91	240 144,79	
					1 200 242,30								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 5 au repère de contrôle n° 4 = 2 400 936^{mm}, 07.

SECTION [4-3]. RETOUR. FIL N° 99. TABLEAU I SECTION [4-3]. RETOUR. FIL N° 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
300	N - K			12,90			250	K - N			6,32	1 200 576,03	
299		27°,6		4,57			249		26°,6		3,39		
298				— 10,57			248				— 16,54		
297				37,11			247				44,51		
296				18,31			246				12,94		
295				12,34			245				14,63		
294		27,3		14,59			244		26,8		9,09		
293				5,11			243				10,97		
292				19,49			242				14,28		
291				20,40			241				18,51		
			—5,12	+134,25	240 129,13					—5,26	+118,10	240 112,84	
290	K - N			16,95			240	N - K			13,49		
289		27,1		8,73			239		26,6		5,55		
288				— 15,19			238				— 23,19		
287				40,21			237				38,51		
286				15,94			236				16,29		
285				13,41			235				5,28		
284		27,3		13,28			234		26,3		17,29		
283				7,35			233				— 0,24		
282				12,63			232				14,68		
281				22,03			231				4,65		
			—5,16	+135,34	240 130,18					—5,31	+ 92,31	240 087,00	
280	N - K			14,86			230	K - N			30,57		
279		27,1		2,00			229		26,6		8,60		
278				— 21,34			228				— 29,86		
277				41,40		Chambre kilom. 7.	227				45,36		
276				13,35			226				13,54		
275				17,09			225				— 0,11		
274		27,3		0,61			224		26,3		17,57		
273				17,62			223				6,30		
272				8,71			222				19,04		
271				12,77		Repos.	221				15,02		
			—5,16	+107,07	240 101,91					—5,31	+126,03	240 120,72	
270	K - N			11,27			220	N - K			14,58		
269		27,1		11,47			219		26,6		13,17		
268				— 12,92			218				— 24,31		
267				28,42			217				46,50		
266				21,20			216				7,64		
265				10,75			215				14,86		
264		26,8		13,89			214		26,3		14,25		
263				5,52			213				— 2,20		
262				16,59			212				15,22		
261				16,50			211				15,62		
			—5,20	+122,69	240 117,49					—5,31	+115,33	240 110,02	
260	N - K			8,13			210	K - N			17,52		
259		26,6		7,96			209		26,1		0,90		
258				— 14,82			208				— 21,74		
257				31,59			207				46,58		
256				18,14			206				10,96		
255				4,05			205				10,03		
254		26,8		13,59			204				11,73		
253				0,81			203		26,3		12,96		
252				14,39			202				9,86		
251				18,74			201	{ K - N M1-Mü			2,08		
			—5,26	+102,58	240 097,32					—5,35	+100,88	240 095,53	Repère n° 3. Changement d'équipe.
					1 200 576,03								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 4 au repère de contrôle n° 3 = 2 401 102^{mm}, 14.

SECTION [3-2]. RETOUR. FIL N° 99. TABLEAU I SECTION [3-2]. RETOUR. FIL N° 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base — Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
200	Mü-MI			19,89			150	MI-Mü			17,06	1 200 516,37	
199		25° 6		4,67			149		25° 1		17,18		
198				— 15,96			148				— 24,44		
197				41,36			147				42,45		
196				5,00			146				2,44		
195				7,23			145				18,27		
194		25, 8		13,37			144		24, 8		2,77		
193				8,71		Chambre kilom. 5.	143				14,46		
192				14,62			142				11,04		
191				6,65			141				8,49		
			— 5,45	+105,54	240 100,09					— 5,58	+109,72	240 104,14	
190	MI-Mü			24,81			140	Mü-MI			27,68		
189		25, 6		— 1,55			139				— 3,97		
188				— 12,46			138				— 17,47		
187				34,07			137				42,04		
186				11,90			136				3,07		
185				19,35			135				14,47		
184		25, 8		0,46			134		24, 8		9,35		
183				10,68			133				0,19		
182				16,19			132				14,27		
181				8,53			131				10,44		
			— 5,45	+111,98	240 106,53					— 5,62	+100,07	240 094,45	
180	Mü-MI			25,33			130	MI-Mü			17,20		
179				4,79			129		24, 6		12,51		
178				— 29,43			128				— 29,08		
177				69,64			127				40,40		
176				— 8,20			126				8,17		
175				1,80			125				6,73		
174		25, 8		17,99			124		24, 6		13,16		
173				4,33			123				8,44		
172				10,58			122				5,55		
171				13,52			121				9,70		
			— 5,43	+110,35	240 104,92					— 5,64	+ 92,78	240 087,14	
170	MI-Mü			20,25			120	Mü-MI			21,39		
169		25, 6		6,72			119		24, 6		1,45		
168				— 19,54			118				— 19,59		
167				39,13			117				45,52		Repos.
166				12,76			116				6,88		
165				10,15			115				18,77		
164				2,61			114				5,69		
163				10,41			113				0,74		
162				16,76			112				17,77		
161				11,28			111				11,38		
			— 5,47	+109,93	240 104,46					— 5,66	+110,00	240 104,34	Chambre kilom. 3.
160	Mü-MI			21,30			110	MI-Mü			16,49		
159		25, 1		3,00			109		24, 6		14,45		
158				— 28,05			108				— 27,76		
157				44,71			107				45,85		
156				9,81			106				— 3,48		
155				10,54			105				7,35		
154		25, 8		15,36			104		24, 8		7,41		
153				3,07			103				12,06		
152				14,50			102				2,32		
151				11,63		Chambre kilom. 4.	101				41,87		Repère n° 2.
			— 5,50	+105,87	240 100,37					— 5,64	+116,56	240 110,92	
					1 200 516,37								

Longueur de la section du repère de contrôle n° 3 au repère de contrôle n° 2 = 2 401 017^{mm}, 36.

SECTION [2-1]. RETOUR. FIL N° 99. TABLEAU I SECTION [2-1]. RETOUR. FIL N° 99.

Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base-Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.	Portée	Observateurs g. d.	Temp.	Correct.	Base-Fil.	Sommes corrigées.	Remarques.
			mm	mm	mm					mm	mm	mm	
100	Mü-MI			— 9,35			60	Mü-MI			4,84	960 329,33	
99		24°, 1		— 2,26			59		22°, 6		2,66		
98				— 17,06			58				— 19,54		
97				45,93			57				35,27		
96				3,05			56				2,32		
95				13,59			55				5,48		
94		24, 3		— 0,49			54		22, 8		— 0,08		
93				8,37			53				4,06		
92				13,82			52				10,37		
91				25,35			51				28,08		
			— 5,73	+ 80,95	240 075,22					— 6,03	+ 73,46	240 067,43	
90	MI-Mü			— 4,09			50	MI-Mü			3,97		
89		23, 6		15,34			49		22, 6		2,27		
88				— 32,07			48				— 19,55		
87				41,10			47				31,47		
86				8,68			46				8,29		
85				19,62			45				7,58		
84		23, 8		11,44			44		22, 3		2,89		
83				— 0,82			43				2,45		
82				12,63			42				8,22		
81				24,60			41				26,74		
			— 5,83	+ 96,13	240 090,30					— 6,08	+ 74,33	240 068,25	
80	Mü-MI			4,23			40	Mü-MI			— 0,54		
79		23, 3		0,90			39		21, 6		2,61		
78				— 22,30			38				— 20,20		
77				39,56			37				42,45		
76				13,06			36				3,26		
75				14,54			35				8,41		
74		23, 8		6,60			34		21, 8		3,23		
73				3,58			33				7,94		
72				13,01			32				8,85		
71				27,07			31				30,45		
			— 5,85	+ 100,25	240 094,40					— 6,22	+ 86,46	240 080,24	
70	MI-Mü			0,67			30	MI-Mü			3,83		
69		23, 6		1,00			29		21, 6		3,99		
68				— 14,98		Chambre kilom. 2.	28				— 26,57		
67				30,13			27				38,53		Chambre kil. 1.
66				12,71			26				5,95		
65				4,47			25				9,94		
64		22, 8		6,99			24				9,51		
63				10,08			23				6,76		
62				2,65			22				6,07		
61				21,62			21.	{ MI-Mü Ma-Mo			21,10		Changement d'équipe.
			— 5,93	+ 75,34	240 069,41					— 6,24	+ 79,11	240 072,87	
					960 329,33							1 920 618,12	

Portée N ^o	Observateurs. gauche droite	Temp.	Correct.	Base—Fil.	Pente. Valeur.	Pente. Correct.	Sommes corrigées ou portées réduites	Longueur d'un repère à l'autre.	Remarques.
				mm	‰	mm	mm	mm	
20	Ma - Mo			9,36			1 920 618,12		Fil 99.
19				— 24,70					
18		20,9		29,44					
17				11,92					
16				11,92					
15				7,78					
14		19,7		— 0,28					
13				4,30					
12				18,82					
11				5,63					
			—6,54	+ 74,19			240 067,65		
10	Mo - Ma		—0,81	9,51			24 008,70		Repère n ^o I.
							264 076,35	2 184 694,47	La mesure quitte la voie.
9	Mo - Ma			6,88	4,20	— 0,21			Fil 99.
8				0,53	8,20	— 0,81			
7				10,52	2,95	— 0,10			Brouillard épais.
6				— 8,98	15,50	— 2,88			
5		2,9		— 20,81	5,20	— 0,32			
4				— 40,62	6,05	— 0,44			
3				— 59,41	1,30	— 0,02			
2				— 32,19	2,65	— 0,08			
1				— 73,12	3,40	— 0,14			
			—8,73	—217,20		— 5,00	215 769,07		
1 ^{bis}	Mo - Ma	—1,3	—0,63	—(2 867,91)	16,00	— 0,38	—2 866,90	212 902,17	Ruban.
									Repère fixe n ^o III.
a.	N - Mü - N	—0,2	+0,28	— 12,36	54,30	—105,92	71 882,00		{ Traversée du Rhône. { Fil 100.
b.	Mü - N		—1,04	74,19	3,45	— 0,14	24 073,01		Fil 99.
c.			—1,04	— 35,12	1,15	— 0,02	23 963,82		
d.			—1,04	66,19	1,75	— 0,04	24 065,11		
d ^{bis}			—0,36	1 566,40	56,50	— 2,49	1 563,55		Ruban.
e.		—0,2	—1,04	36,77	11,50	— 1,59	24 034,14		Fil 99.
f.			—1,04	— 4,44	5,45	— 0,36	23 994,16		
g.			—1,04	— 14,52	33,10	—13,14	23 971,30		
h.			—1,04	62,10	1,80	— 0,04	24 061,02		
i.			—1,04	— 39,65	31,25	—11,71	23 947,60		
k.			—1,04	63,98	26,80	— 8,60	24 054,34		
							217 728,05	289 610,05	Repère fixe n ^o II.
l.	N - Mü	1,2	+0,38	— 19,00	59,25	—42,02	23 939,36		Fil 64.
m.		1,3	—0,81	3 746,41	100,00	— 1,87	3 743,73		Ruban.
n.		1,7	—0,85	3 916,37	28,75	— 1,62	3 913,90	31 596,99	Ruban.
									Repère fixe n ^o I. Observatoire de Brigue.

3. — Réduction à l'horizon.

Comme il a été dit plus haut, la *réduction à l'horizon*, pour la longue section de la base mesurée sur la voie rectiligne, a été obtenue au moyen des données fournies par le nivellement de précision exécuté par le Service topographique fédéral, immédiatement après la mesure de la base. Il s'agissait tout d'abord de comparer et, si possible, d'identifier les stations des mires du nivellement avec les emplacements des repères mobiles. Ces repères étaient placés de façon que celui de leurs deux pieds qui était tourné du côté de Brigue touchât le joint marqué à la peinture sur le rail est. Le centre des repères mobiles dépassait ainsi de $0^m,84$ le joint marqué à la peinture. Les joints correspondant aux stations de la mire sur le rail ouest pouvaient être, soit placés en face des joints marqués pour la mesure de la base, soit déplacés par rapport à ceux-ci d'une longueur de rail, 12 mètres, soit une demi-portée des fils.

Pour établir les positions relatives de ces emplacements, on disposait :

1) Des notes des secrétaires, avec les croquis indiquant les positions des chambres kilométriques par rapport aux portées de la base. Voici par exemple (fig. 33) le croquis de l'emplacement de la chambre kil. 2. On y voit que le milieu de cette chambre se trouvait en face de la seconde moitié de la portée 68 en venant de Brigue.

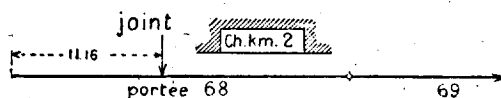


FIG. 33.

2) Des distances des stations de mire, entre elles et par rapport au milieu de la face antérieure des chambres kilométriques qui contiennent les repères du nivellement, d'après les indications données par le Service topographique fédéral.

3) Des distances entre les chambres kilométriques, mesurées par le Service des Chemins de fer fédéraux.

On peut ainsi représenter les distances des stations de mire, par les numéros des portées de la base. On désignera par exemple une station de mire située à l'extrémité de la douzième portée de la mesure de la base par le n° 12; une station située à une longueur de rail en avant de la fin de la portée 68 portera la désignation 68,5. Le nivellement fournit les différences de niveau entre les stations de mire; leur distance étant connue, on peut calculer la réduction à l'horizon pour la ligne droite allant de l'une de ces stations à la suivante.

Il faut remarquer cependant que les portées du nivellement étaient généralement de 48^m, parfois même plus longues, tandis que les distances des repères mobiles étaient toujours de 24^m. Mais nous allons montrer qu'en admettant une pente régulière d'une station de mire à l'autre, l'erreur commise reste dans les limites admissibles.

Les pentes étant exprimées, à l'ordinaire, dans le nivellement, en millimètres de différence de niveau pour une distance de 48^m, on ne peut plus employer le tableau de réduction donné dans la publication de MM. Benoît et Guillaume, à laquelle il a été fait allusion plus haut. M. Knapp a donc calculé un autre tableau, fournissant la réduction correspondant à la pente, et que nous donnons en grande partie ci-après. Si l'on désigne par z cette réduction, par h la différence de niveau, par l la distance des stations de mire, soit 48^m, le tableau a été établi en employant la formule :

$$z = \frac{h^2}{2l} = \frac{h^2}{96}.$$

La première colonne donne les h en centimètres; les nombres figurant au haut des autres colonnes fournissent les millièmes de ces mêmes h ; les z correspondants, en millimètres, se trouvent plus bas dans ces colonnes. Pour des portées ne mesurant pas 48^m, on a calculé la réduction z directement d'après la formule ci-dessus.

Réduction z en fonction des différences de niveau pour une portée de 48 mètres.

<i>h</i>	0,000	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
<i>m</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i>
0,01	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
02	004	005	005	005	006	006	007	008	008	009
03	009	01	01	01	01	01	01	01	02	02
04	02	02	02	02	02	02	02	02	02	03
05	03	03	03	03	03	03	03	03	04	04
06	04	04	04	04	04	04	05	05	05	05
07	05	05	05	06	06	06	06	06	06	07
08	07	07	07	07	07	08	08	08	08	08
09	08	09	09	09	09	09	10	10	10	10
0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
11	13	13	13	13	14	14	14	14	15	15
12	15	15	15	16	16	16	17	17	17	17
13	18	18	18	18	19	19	19	20	20	20
14	20	21	21	21	22	22	22	23	23	23
15	23	24	24	24	25	25	25	26	26	26
16	27	27	27	28	28	28	29	29	29	30
17	30	30	30	31	32	32	32	33	33	33
18	34	34	34	35	35	36	36	36	37	37
19	38	38	38	39	39	40	40	40	41	41
0,20	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,45
21	46	46	46	47	48	48	49	49	50	50
22	50	51	51	52	52	53	53	54	55	55
23	55	56	56	57	57	58	58	59	59	60
24	60	61	61	62	62	63	63	64	64	65
25	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70
26	70	71	72	72	73	73	74	74	75	75
27	76	76	77	78	78	79	79	80	81	81
28	82	82	83	83	84	85	85	86	86	87
29	88	88	89	89	90	91	91	92	93	93
0,30	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99
31	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06
32	07	07	08	09	09	10	11	11	12	13
33	13	14	15	16	16	17	18	18	19	20
34	20	21	22	23	23	24	25	25	26	27
35	28	28	29	30	31	31	32	33	34	34
36	35	36	37	37	38	39	40	40	41	42

Le *tableau II* donne la *réduction à l'horizon*. Il n'exige pas de longues explications, les indications placées au haut des colonnes étant suffisamment claires. Notons seulement que, dans la troisième colonne, les repères de nivellement portent des numéros marqués d'un accent, afin de les distinguer des repères de contrôle qui figurent dans la première colonne. Faisons aussi une remarque à propos de l'avant-dernière colonne intitulée *sommes* : on y trouve la somme des réductions pour les intervalles compris, soit entre deux repères de nivellement, soit entre un de ceux-ci et l'un des repères de contrôle de la base. Quant à la somme totale des réductions d'un des repères de contrôle au suivant, elle se trouve au bas de chaque page, dans une ligne à part, ce tableau étant fractionné, comme précédemment le *tableau I*, de manière à ce que chaque section de la base remplisse une page entière. Notons encore, à propos de ces repères de contrôle, qu'aux endroits où l'un d'entre eux ne correspondait pas à une station de mire, on a arrêté l'addition à la station de mire qui précède, et ajouté le surplus aux réductions entre les repères de contrôle suivants. Ainsi l'addition des réductions entre les repères 1 et 2 est close après la portée 99,5, tandis que le repère 2 se trouve seulement à l'extrémité de la portée 100, c'est-à-dire 12^m plus loin. L'addition entre les repères 2 et 3 comprend de même la distance entre les portées 99,5 et 199. La somme finale des réductions n'est pas sensiblement influencée par cette manière de procéder. Comme on le voit dans le tableau, c'est surtout vers le milieu du tunnel, entre les portées 358 et 395 que les distances entre les stations de mire sont irrégulières. Dans cette région, les longueurs des rails n'étaient pas toujours de 12^m, et les distances ont été mesurées au pas par les ingénieurs du nivellement.

La réduction d'ensemble pour toute la section rectiligne de la base, du repère n° 1 au repère n° 10, est donnée à part à la fin du tableau (p. 80).

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.		
N°	N°*	N°	N°*	m	m	mm	mm			
1	8-10		5-6	48	+0,074	-0,04		Moitié de la réduction en commençant par la portée 9.		
	10-12		6-7	48	098	10				
	12-14		7-8	48	092	09				
	14-16		8-9	48	086	08				
	16-18		9-10	48	129	17				
	18-20		10-11	48	110	13				
	20-22		11-12	48	086	08				
	22-24		12-13	48	089	08			-0,77	
	24-28		1'	13-14	96	+0,187			-0,18	
	28-30			14-15	48	101			11	
	30-32			15-16	48	128			17	
	32-34			16-17	48	127			17	
	34-36			17-18	48	096			10	
	36-38	18-19		48	066	05				
	38-40	19-20		48	080	07				
	40-42	20-21		48	131	18				
	42-44	21-22		48	082	07				
	44-46	22-23		48	080	07				
	46-48	23-24		48	083	07				
	48-50	24-25		48	124	16				
	50-52	25-26		48	120	15				
	52-54	26-27		48	083	07				
	54-56	27-28		48	096	10				
	56-58	28-29		48	086	08				
	58-60	29-30		48	112	13				
	60-62	30-31	48	099	10					
	62-64	31-32	48	096	10					
	64-66	32-33	48	090	08	-2,21				
	66-68,5	2'	33-34	60	+0,110	-0,10				
	68,5-70,5		34-35	48	083	07				
	70,5-72,5		35-36	48	101	11				
	72,5-74,5		36-37	48	100	10				
	74,5-76,5		37-38	48	112	13				
	76,5-78,5		38-39	48	068	05				
	78,5-80,5		39-40	48	097	10				
	80,5-82,5		40-41	48	094	09				
	82,5-84,5		41-42	48	106	12				
	84,5-85,5		42-43	24	051	02				
	85,5-87,5		43-44	48	063	04				
	87,5-89,5		44-45	48	138	20				
	89,5-91,5		45-46	48	090	08				
	91,5-93,5	46-47	48	093	09					
	93,5-95,5	47-48	48	110	13					
	95,5-97,5	48-49	48	098	10					
	97,5-99,5	49-50	48	123	16	-1,69				
	2									

Réduction totale du repère n° 1 au repère n° 2 = - 4^{mm},67.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.
N°	N°s	N°	N°	m	mm	mm	mm	
2	99,5—101,5	3'	50—51	48	+0,070	— 0,05	— 0,39	
	101,5—103,5		51—52	48	130	18		
	103,5—105,5		52—53	48	099	10		
	105,5—107,5		53—54	48	077	06		
	107,5—111,0	3'	54—55	84	+0,176	— 0,18		
	111—113		55—56	48	104	11		
	113—115		56—57	48	106	12		
	115—117		57—58	48	096	10		
	117—119		58—59	48	091	09		
	119—121		59—60	48	089	08		
	121—123		60—61	48	131	18		
	123—125		61—62	48	058	04		
	125—127		62—63	48	107	12		
	127—129		63—64	48	112	13		
	129—131		64—65	48	076	06		
	131—133		65—66	48	099	10		
	133—136		66—67	72	143	14		
	136—138		67—68	48	115	14		
	138—140		68—69	48	094	09		
	140—142		69—70	48	080	07		
	142—144	70—71	48	119	15			
	144—146	71—72	48	076	06			
	146—148	72—73	48	096	10			
	148—150	73—74	48	127	17	— 2,23		
	150—151,5	4'	74—75	36	+0,051	— 0,02		
	151,5—153,5		75—76	48	096	10		
	153,5—155,5		76—77	48	103	11		
	155,5—157,5		77—78	48	084	07		
	157,5—160,5		78—79	72	157	17		
	160,5—162,5		79—80	48	058	04		
	162,5—164,5		80—81	48	111	13		
	164,5—166,5		81—82	48	099	10		
	166,5—169,0		82—83	60	127	14		
169—171	83—84		48	089	08			
171—173	84—85		48	131	18			
173—175	85—86		48	049	03			
175—177	86—87		48	130	18			
177—179	87—88		48	067	05			
179—181	88—89		48	111	13			
181—183	89—90		48	097	10			
183—185	90—91		48	106	12			
185—187	91—92	48	091	09				
187—189	92—93	48	126	17				
189—191	93—94	48	050	03	— 2,04			
191—193	5'	94—95	48	+0,118	— 0,15			
193—195		95—96	48	110	13			
195—197		96—97	48	079	07			
197—199		97—98	48	122	16		— 0,51	

Réduction totale du repère n° 2 au repère n° 3 = —5^{mm},17.

TABLEAU II.

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.
N°	N°	N°	N°	m	mm	mm	mm	
3	199—201	6'	98—99	48	+0,077	— 0,06		
	201—203		99—100	48	109	12		
	203—205		100—101	48	071	05		
	205—207		101—102	48	131	18		
	207—209		102—103	48	094	09		
	209—211		103—104	48	100	10		
	211—213		104—105	48	093	09		
	213—215		105—106	48	112	13		
	215—217		106—107	48	102	11		
	217—220		107—108	72	136	13		
	220—222		108—109	48	078	06		
	222—224		109—110	48	106	12		
	224—226		110—111	48	100	10		
	226—228		111—112	48	087	08		
	228—230		112—113	48	109	12		
	230—232		113—114	48	079	07		— 1,61
	232—235		114—115	72	+0,130	— 0,12		
	235—237		115—116	48	106	12		
	237—239		116—117	48	089	08		
	239—241		117—118	48	091	09		
	241—244		118—119	72	133	12		
	244—246		119—120	48	109	12		
	246—248		120—121	48	086	08		
	248—250		121—122	48	100	10		
	250—252		122—123	48	110	13		
	252—254		123—124	48	078	06		
	254—256		124—125	48	089	08		
	256—258		125—126	48	112	13		
	258—260		126—127	48	077	06		
	260—262		127—128	48	088	08		
	262—264		128—129	48	136	19		
	264—266		129—130	48	062	04		
	266—268		130—131	48	094	09		
268—270	131—132	48	109	12				
270—272	132—133	48	101	11				
272—274	133—134	48	067	05				
274—276	134—135	48	099	10		— 2,07		
276—278	135—136	48	+0,127	— 0,17				
278—280	136—137	48	056	03				
280—282	137—138	48	114	14				
282—284	138—139	48	085	08				
284—286	139—140	48	083	07				
286—288	140—141	48	084	07				
288—290	141—142	48	109	12				
290—292	142—143	48	082	07				
292—294	143—144	48	102	11				
294—296	144—145	48	106	12				
296—298	145—146	48	117	14				
298—300	146—147	48	069	05		— 1,17		
4								

Réduction totale du repère n° 3 au repère n° 4 = —4^{mm},85.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.	
N°	Nos	N°	N°	m	mm	mm	mm		
4	300—302	8'	147—148	48	+0,114	- 0,14			
	302—304		148—149	48	085	08			
	304—306		149—150	48	112	13			
	306—308		150—151	48	075	06			
	308—310		151—152	48	125	16			
	310—312		152—153	48	103	11			
	312—314		153—154	48	078	06			
	314—316		154—155	48	035	01		- 0,75	
	316—319		155—156	72	+0,188	- 0,25			
	319—321		156—157	48	060	04			
	321—323		157—158	48	121	15			
	323—325		158—159	48	063	04			
	325—327		159—160	48	087	08			
	327—329		160—161	48	116	14			
	329—331	161—162	48	059	04				
	331—333	162—163	48	120	15				
	333—335	163—164	48	105	12				
	335—337	164—165	48	102	11				
	337—339	165—166	48	083	07				
	339—341	166—167	48	103	11				
	341—343	167—168	48	099	10				
	343—345	168—169	48	103	11				
	345—347	169—170	48	097	10				
	347—349	170—171	48	090	08				
	349—349,8	171—172	18	093	24				
	349,8—350,5	172—173	18	024	02				
	350,5—352,5	173—174	48	040	02				
	352,5—354,5	174—175	48	092	09				
	354,5—356,5	175—176	48	092	09				
	356,5—358,5	176—177	48	098	10			- 2,25	
	5	358,5—360,5	9'	177—178	46,6	+0,089	- 0,08		
		360,5—362,5		178—179	50,7	112	12		
		362,5—364,5		179—180	50,4	107	11		
364,5—366,5		180—181		50,4	082	07			
366,5—368,5		181—182		50,9	106	11			
368,5—370,5		182—183		50	121	15			
370,5—372,5		183—184		50	065	04			
372,5—374,5		184—185		50,1	081	06			
374,5—376,0		185—186		28	070	09			
376—378		186—							
378—379,5		— 187	86,7	177	0,18				
379,5—381,5		187—188	47,8	100	10				
381,5—383,5		188—189	47,6	097	10				
383,5—385,5		189—190	47,5	065	04				
385,5—387,5		190—191	48,3	110	13				
387,5—389,5		191—192	47,2	070	05				
389,5—391,5		192—193	48,1	138	20				
391,5—393,5		193—194	49,2	070	05				
393,5—395,5		194—195	43,7	100	11				
395,5—397,5		195—196	48	114	14				
397,5—399,5	196—197	48	+0,027	01			- 1,94		

Réduction totale du repère n° 4 au repère n° 5 = -4^{mm},94.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.	
N°	N°	N°	N°	m	mm	mm	mm		
5	399,5—400,5	10'	197—198	24	—0,076	— 0,12			
	400,5—402,5		198—199	48	288	86			
	402,5—404,5		199—200	48	317	1,05			
	404,5—406,5		200—201	48	341	1,21			
	406,5—410,5		201—202	96	667	2,26			
	410,5—412,5		202—203	48	303	0,96			
	412,5—414,5		203—204	48	363	1,37			
	414,5—416,5		204—205	48	344	1,23			
	416,5—419,5		205—206	76	410	1,11			
	419,5—421,5		206—207	48	326	1,11			
	421,5—423,5	207—208	48	366	1,40				
	423,5—425,5	208—209	48	321	1,07				
	425,5—428,0	209—210	60	442	1,63				
	428—430	210—211	48	335	1,17				
	430—431	211—213	33	244	0,90		—17,45		
			11'	213—214	51,4	—0,353	— 1,21		
	431—433	214—215		48	376	1,47			
	433—435	215—216		48	311	1,01			
	435—437	216—217		48	346	1,25			
	437—439	217—218		48	365	1,39			
	439—441	218—220		48	340	1,20			
	441—443	220—221		48	329	1,13			
	443—445	221—222		48	310	1,00			
	445—447	222—223		48	356	1,32			
	447—449	223—225		48	311	1,01			
	449—451	225—226	48	398	1,65				
	451—453	226—227	48	341	1,21				
	453—455	227—228	48	329	1,13				
	455—457	228—229	48	310	1,00				
	457—459	229—231	48	332	1,15				
	459—461	231—232	48	372	1,44				
	461—463	232—233	48	331	1,14				
	463—465	233—235	48	349	1,27				
	465—467	235—236	48	307	0,98				
	467—469	236—237	48	308	0,99				
	469—471	237—238	48	372	1,44		—25,39		
	471—473		12'	238—239	72	—0,512	— 1,81		
	473—476	239—240		48	313	1,02			
	476—478	240—241		48	339	1,20			
	478—480	241—242		48	338	1,19			
	480—482	242—243		48	314	1,03			
	482—484	243—245		48	345	1,24			
	484—486	245—246		48	353	1,30			
486—490	246—247	48		321	1,07				
490—492	247—249	24		183	0,70				
492—493	249—250	48		307	0,98				
493—495	250—251	48	372	1,44					
495—497	251—252	48	303	0,96		—13,94			
497—499									

Les portées 487 et 488 manquent.

Réduction totale du repère n° 5 au repère n° 6 = —56^{mm},78.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.	
N°	N°s	N°	N°	m	mm	mm	mm		
6	499—501		252—253	48	—0,350	— 1,28			
	501—503		253—254	48	349	1,06			
	503—505		254—256	48	343	1,23			
	505—507		256—257	48	339	1,20			
	507—509		257—258	48	372	1,44			
	509—511		258—259	48	326	1,11			
	511—513		259—261	48	342	1,22			
	513—515		261—262	48	279	0,81			
	515—517		262—263	48	340	1,20	—10,55		
	517—519		13'	263—265	48	—0,352	— 1,29		
	519—521			265—266	48	343	1,23		
	521—523			266—267	48	310	1,00		
	523—526			267—268	48	338	1,19		
	526—528	268—270		48	293	0,89			
	528—530	270—271		48	383	1,53			
	530—532	271—272		48	340	1,20			
	532—534	272—273		48	298	0,93			
	534—536	273—274		48	342	1,22			
	536—538	274—275		48	323	1,09			
	538—540	275—276		48	331	1,14			
	540—542	276—277		48	299	0,93			
	542—544	277—278		48	308	0,99			
	544—546	278—279	48	338	1,19				
	546—548	279—280	48	303	0,96				
	548—550	280—281	48	366	1,40				
	550—552	281—283	48	347	1,25				
	552—554	283—284	48	348	1,26				
	554—556	284—285	48	302	0,95				
	556—558	285—286	48	358	1,34				
	558—560	286—287	48	323	1,09				
	560—562	287—288	48	339	1,20	—25,27			
	562—564	14'	288—290	48	—0,327	— 1,11			
	564—566		290—291	48	346	1,25			
	566—568		291—292	48	319	1,06			
	568—570		292—293	48	351	1,28			
	570—572		293—295	48	343	1,23			
	572—574		295—296	48	351	1,28			
	574—576		296—297	48	321	1,07			
	576—578		297—299	48	338	1,19			
	578—580		299—300	48	351	1,28			
	580—582		300—301	48	315	1,03			
	582—584		301—302	48	300	0,94			
584—586	302—304		48	369	1,42				
586—588	304—305		48	335	1,17				
588—590	305—306	48	328	1,12					
590—592	306—307	48	352	1,29					
592—594	307—309	48	344	1,21					
594—596	309—310	48	308	0,99					
596—598	310—311	48	362	1,37					
598—600	311—312	48	337	1,18	—22,47				
7		15'							

Réduction totale du repère n° 6 au repère n° 7 = —58^{mm},29.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.	
N°	N°	N°	N°	m	mm	mm	mm		
7	600—603	15'	312—313	69	—0,505	— 1,85			
	603—605		313—314	48	340	1,20			
	605—607		314—315	48	365	1,39			
	607—609		315—316	48	314	1,03			
	609—611		316—318	48	351	1,28			
	611—613		318—319	48	343	1,23			
	613—615		319—320	48	332	1,15			
	615—617		320—321	48	342	1,22			
	617—619		321—323	48	347	1,25			
	619—621		323—324	48	361	1,36			
	621—623		324—325	48	322	1,08			
	623—625		325—326	48	342	1,22			
	625—627		326—328	48	329	1,13			
	627—629		328—329	48	347	1,25			
	629—631		329—330	48	354	1,31			
	631—633	330—331	48	347	1,25				
	633—635	331—332	48	345	1,24				
	635—637	332—333	48	334	1,16				
	637—639	333—335	48	370	1,43				
	639—641	335—336	48	324	1,09				
	641—643	336—337	48	351	1,28		—26,40		
			16'	337—339	48	—0,344	— 1,23		
	643—645	339—340		48	331	1,14			
	645—647	340—341		48	319	1,06			
	647—649	341—342		48	363	1,37			
	649—651	342—344		48	365	1,39			
	651—653	344—345		48	328	1,12			
	653—655	345—346		48	306	0,98			
	655—657	346—347		48	336	1,18			
	657—659	347—348		72	492	1,68			
	659—662	348—349		48	345	1,24			
	662—664	349—350		48	323	1,09			
	664—666	350—351		48	361	1,36			
	666—668	351—353		48	311	1,01			
	668—670	353—354		48	342	1,22			
	670—672	354—355		48	333	1,16			
	672—674	355—356	48	336	1,18				
	674—676	356—358	48	327	1,11				
	676—678	358—359	48	338	1,19				
	678—680	359—360	48	356	1,32				
	680—682	360—361	48	322	1,08		—24,11		
	682—684		17'	361—363	48	—0,338	— 1,19		
	684—686	363—364		48	352	1,29			
	686—688	364—365		48	311	1,01			
	688—690	365—366		48	363	1,37			
	690—692	366—368		48	323	1,09			
692—694	368—369	48		348	1,26				
694—696	369—370	48		313	1,02				
696—698	370—371	48		351	1,28		— 9,51		
698—700									
8									

Réduction totale du repère n° 7 au repère n° 8 = —60^{mm},02.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.	
N°	N°	N°	N°	m	mm	mm	mm		
8	700—702	18'	371—372	48	—0,343	— 1,23			
	702—704		372—373	48	330	1,13			
	704—706		373—374	48	336	1,18			
	706—708		374—375	48	331	1,14			
	708—710		375—377	50,5	358	1,34			
	710—712		377—378	45,5	327	1,11			
	712—714		378—379	48	327	1,11			
	714—716		379—380	48	320	1,07			
	716—718		380—381	48	359	1,34			
	718—720		381—383	48	339	1,20			
	720—722		383—384	48	310	1,00			
	722—724		384—385	48	352	1,29			
	724—726		385—386	48	321	1,07	—15,21		
	726—728		18'	386—388	48	—0,363	— 1,37		
	728—730			388—389	48	320	1,07		
	730—732			389—390	48	303	0,96		
	732—734			390—391	48	335	1,17		
	734—736,5			391—392	60	426	1,43		
	736,5—738,5	392—393		48	337	1,18			
	738,5—740,5	393—394		48	356	1,32			
	740,5—742,5	394—395		48	309	0,99			
	742,5—744,5	395—397		48	355	1,31			
	744,5—746,5	397—398		48	342	1,22			
	746,5—748,5	398—399		48	317	1,05			
	748,5—750,5	399—400		48	343	1,23			
	750,5—752,5	400—402		48	333	1,16			
	752,5—754,5	402—403		48	327	1,11			
	754,5—756,5	403—404		48	347	1,25			
	756,5—758,5	404—405		48	332	1,15			
	758,5—760,5	405—407		48	351	1,28			
	760,5—762,5	407—408		48	307	0,98			
	762,5—764,5	408—409	48	346	1,25				
	764,5—766,5	409—410	48	363	1,37	—23,85			
	766,5—768,5	19'	410—412	50,2	—0,333	— 1,16			
	768,5—770,5		412—413	45,8	330	1,13			
	770,5—772,5		413—414	48	336	1,18			
	772,5—774,5		414—415	48	337	1,18			
	774,5—776,5		415—416	48	332	1,15			
	776,5—778,5		416—417	48	339	1,20			
	778,5—780,5		417—419	48	335	1,17			
	780,5—782,5		419—420	48	333	1,16			
	782,5—784,5		420—421	48	358	1,34			
	784,5—786,5		421—422	48	316	1,04			
786,5—788,5	422—424		48	342	1,22				
788,5—790,5	424—425		48	340	1,20				
790,5—792,5	425—426		48	354	1,31				
792,5—794,5	426—428		48	300	0,94				
794,5—796,5	428—429		48	344	1,23				
796,5—798,5	429—430		48	347	1,25				
798,5—800,5	430—431		48	323	1,09	—19,95			
9									

Réduction totale du repère n° 8 au repère n° 9 = —59^{mm},01.

TABLEAU II

Repère de contrôle de la base	Portées.	Repère de nivellement.	Station de mire.	Distance.	Différence de niveau.	Réduction de pente.	Somme.	Remarques.
N°	N°s	N°	N°	m	mm	mm	mm	
9	800,5—803,0	20'	431—432	60	—0,412	— 1,41		
	803—804		432—433	24	164	0,56		
	804—805		433—434	24	198	0,82		
	805—807		434—435	48	328	1,12		
	807—809		435—436	48	327	1,11	— 5,02	
10	809—811	20'	436—438	48	331	— 1,14		
	811—813		438—439	48	336	1,18		
	813—815		439—440	48	404	0,85	— 3,17	
								Moitié de la réduction, le repère 10 étant placé après la portée 814.
Réduction totale du repère n° 9 au repère n° 10 = — 8 ^{mm} ,49.								
Réduction d'ensemble du repère n° 1 au repère n° 10 = — 261^{mm},92.								

Pour estimer l'erreur qui peut se produire dans la réduction de pente par le fait que les portées de la base étaient en général plus courtes de moitié que les distances entre les stations de mire, on a compté, pour toute la rampe sud du tunnel, qui présente une pente générale de 7‰, le nombre des distances de 48^m pour lesquelles les différences de niveau diffèrent de plus de 30^{mm} de la valeur normale de 336^{mm} qu'elles devaient avoir. Ce cas s'est présenté 29 fois sur 212 portées du nivellement. Les différences extrêmes ont été : 62^{mm} une fois, 55^{mm} deux fois. La différence moyenne pour les 29 cas est de 38^{mm}.

Admettons 29 fois le cas défavorable où l'excès de 38^{mm} sera contenu dans l'une des moitiés de 24^m, tandis que les autres 24^m ont la pente régulière de 7‰, nous obtiendrons chaque fois une réduction de 0^{mm},01 en plus, donc en tout 0^{mm},29. Si l'on fait le même calcul pour le cas extrême, où l'excédent est de 62^{mm} pour 48^m, on trouve une réduction en plus de 0^{mm},04 seulement. Pour la rampe nord du tunnel, où la pente générale n'est que de 2‰ les inégalités produiraient un effet encore moins sensible.

Si l'on admet pour les 391 portées de 24 mètres de la base, sur la rampe nord, une pente uniforme de 2‰, puis, pour les 414 portées de la rampe sud, une pente également uniforme de 7‰, on arrive, par un calcul sommaire, à une réduction totale de : 0^m,0188 + 0^m,2434 = 0^m,262 qui coïncide exactement avec celle que donne le tableau II ci-dessus.

Pour vérifier les inégalités de la pente qui devaient exister, vers le milieu du tunnel, le règlement prévoyait, ainsi qu'on l'a vu plus haut (p. 27), que la pente y serait déterminée au moyen de la lunette de nivellement portée par les repères mobiles. Cette opération a été faite effectivement de la portée 463 jusqu'à la portée 380, pendant la mesure de retour. Ce nivellement donne, pour les 84 portées, une réduction totale de pente de $38^{\text{mm}},2$, tandis que le tableau II fournit entre les mêmes portées un chiffre de $37^{\text{mm}},9$. La concordance est bonne, et les considérations que nous venons d'exposer permettent certainement d'envisager comme négligeables les erreurs résultant du procédé de calcul employé dans le tableau II.

4. — Réduction provenant des déviations.

Pour la réduction provenant de la déviation de la ligne mesurée le long des rails par rapport à la ligne droite réelle de la base, on s'est servi des observations faites par les deux équipes d'alignement, observations sommairement décrites dans les chapitres précédents (p. 28 et 39). Ajoutons que ces opérations ont marché plus lentement qu'on ne l'avait prévu : elles n'ont atteint le milieu du tunnel qu'au moment où s'achevait la mesure d'aller. Pour ne pas s'exposer à une rencontre avec la mesure de retour, on a procédé à l'alignement, dans la seconde moitié du tunnel, en partant de l'extrémité sud et en suivant les équipes de la mesure. Le contrôle de l'alignement a été achevé à peu près en même temps que la mesure de la base dans le tunnel lui-même.

La voie ferrée est placée au milieu de l'intervalle entre les deux pieds-droits de la voûte du tunnel, dont l'écartement avait été piqueté d'après l'alignement exécuté lors de la construction même du tunnel. On peut donc admettre comme certain que deux stations du théodolite de l'alignement de la base, distantes de 100 portées du fil, s'écartent d'une quantité si minime de la ligne parallèle à la droite qui joint les observatoires de Brigue et d'Iselle, que la réduction en longueur peut être négligée. Admettons, en effet que cet écartement atteigne la valeur extraordinaire de 24 centimètres, la réduction équivalente sur les 100 portées, soit 2400 mètres, ne serait que d'un centième de millimètre, quantité absolument négligeable : on a donc fait les réductions de la déviation en se servant toujours de la ligne droite comprise entre deux repères de contrôle consécutifs comme ligne directrice.

On avait cru éliminer complètement l'erreur de la collimation, en employant la méthode d'observation décrite plus haut (p. 18 et 28), qui consiste à viser dans les deux positions de la lunette du théodolite. Cependant l'étude des résultats a amené à la conviction que les observations devaient contenir des erreurs systématiques assez considérables. En effet, les déviations constatées sont en grande majorité de même signe et ne se compensent pas : les lectures en *plus* sur l'échelle sont beaucoup plus nombreuses que les lectures en *moins*.

Pour déterminer la valeur de l'erreur systématique par portée, on n'a qu'à faire la somme algébrique des déviations réduites à une portée pour tous les stationnements, et à diviser par le nombre des stations. On a ainsi trouvé, pour les différentes sections, les valeurs suivantes des erreurs systématiques :

entre les stations	9 et 99 ¹	+ 3,3	mm	par portée.
»	» 99 » 199	+ 2,5	»	»
»	» 199 » 298	+ 4,5	»	»
»	» 298 » 402	+ 6,1	»	»
»	» 402 » 500	— 5,0	»	»
»	» 809 » 700	+ 1,4	»	»
»	» 700 » 600	+ 1,3	»	»
»	» 600 » 500	+ 3,1	»	»

La seule valeur négative est celle qui correspond à la section « 402—500 », ce qui s'explique par l'écart de 20^{cm} qui existait à la fin de la construction du tunnel entre les deux axes des alignements du côté sud et du côté nord, écart qui a été constaté dans cette section, après le percement et lors de la vérification finale.

Une des causes des erreurs systématiques qui viennent d'être indiquées n'a été découverte qu'après les opérations. Il existait en effet une faute de construction dans la marque de visée d'arrière, déplacée d'environ un centimètre par rapport au bord du rail auquel elle devait correspondre.

Une autre source d'erreur peut résulter du changement parfois très rapide de la collimation de la lunette par suite de l'humidité, qui détendait sensiblement les fils du réticule. Enfin il se peut que, suivant l'opérateur, la mise en coïncidence de la pointe du fil à plomb de l'instrument avec le bord du rail ait été faite d'une manière insuffisante. Par suite de ces incertitudes on ne peut considérer les réductions de la déviation que comme une estimation approchée, qui reste cependant dans les limites des erreurs de la mesure proprement dite.

L'erreur systématique ainsi trouvée pour chaque section est à déduire de la *dévi-
ation observée* par portée, pour obtenir la *dévi-
ation compensée*.

¹ On désigne ici une station par le numéro de la portée qui la précède ; p. ex. la station 9 est la station située entre les portées 9 et 10, et de même pour les autres.

Le travail de réduction se fait de la façon suivante :

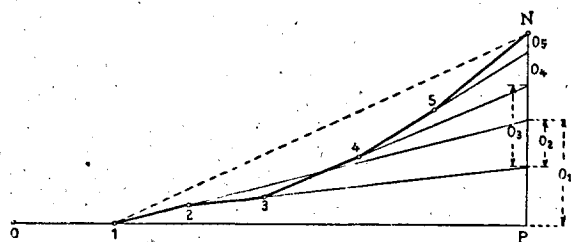


FIG. 34.

Soit $1\ 2\ 3\ \dots\ N$ (fig. 34) le polygone formé par les stations de théodolite d'une section. On cherche d'abord la distance du point extrême N de ce polygone à la ligne directrice $0-1$ prolongée. Cette distance est égale à PN , soit à la somme algébrique des longueurs O_1, O_2, O_3, \dots comprises entre les côtés prolongés du polygone sur la perpendiculaire à $0-1$ passant par N . Soient aussi $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$ les angles compris entre les divers côtés du polygone, $1-2, 2-3, 3-4, \dots$, et le côté qui les précède, angles représentés par leur tangente correspondant à un rayon égal à la longueur d'une portée de 24^m , et exprimés en centimètres. Soient enfin n_1, n_2, n_3, \dots les nombres des portées comptées à partir des stations de théodolite $1, 2, 3, \dots$ jusqu'à l'extrémité du polygone. On aura

$$O_1 = n_1 \delta_1 \quad O_2 = n_2 \delta_2 \quad O_3 = n_3 \delta_3 \quad \text{etc.}$$

La déviation totale PN aura la valeur :

$$PN = O_1 + O_2 + O_3 \dots = [O]$$

Soit ν l'angle compris entre la corde du polygone $1-N$ et la ligne directrice $0-1$, angle représenté, comme ci-dessus, par la longueur de la tangente correspondant à une portée de 24^m , on aura :

$$\nu = \frac{[O]}{n_1},$$

où n_1 est le nombre total des portées.

Les angles compris entre la corde et les divers côtés du polygone, que nous désignerons, comme au tableau III, par la lettre γ , ont alors les valeurs suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Pour le 1}^{\text{er}} \text{ côté : } \gamma_1 = \nu - \delta_1 \\ \text{» 2}^{\text{me}} \text{ » } \gamma_2 = \nu - (\delta_1 + \delta_2) = \gamma_1 - \delta_2 \\ \text{» 3}^{\text{me}} \text{ » } \gamma_3 = \nu - (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3) = \gamma_2 - \delta_3 \end{array} \right.$$

et ainsi de suite.

Remarquons maintenant qu'un côté du polygone comprend plusieurs portées (de 3 à 8). La déviation par rapport au côté du polygone qui précède, pour les points compris

entre les portées intermédiaires a été déterminée à partir des stations de théodolite au moyen de l'échelle transparente, placée successivement sur ces divers points. Les lectures ainsi faites pour la section comprise entre les portées n° 9 et n° 99 sont données au tableau III dans la colonne intitulée : *Lignes intermédiaires, déviation observée*. Pour compenser ces valeurs observées, on a dû tenir compte du montant de l'erreur systématique σ , multipliée par le nombre des portées comprises entre la station du théodolite et celle de l'échelle. On obtient ainsi la *déviation compensée* du même tableau III.

Or ce ne sont pas les longueurs des côtés du polygone qu'il faut rapporter à la corde, mais les longueurs de ces diverses *lignes intermédiaires*.

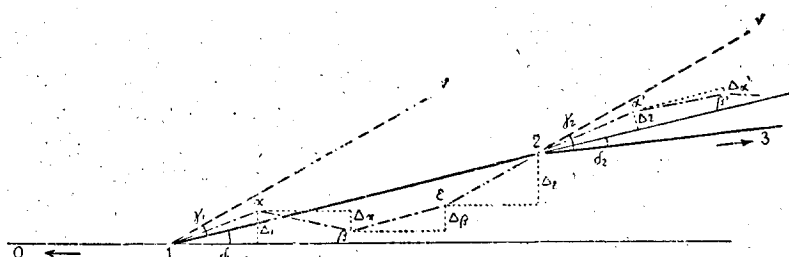


FIG. 35.

Considérons par exemple les côtés 1—2 et 2—3 d'un des polygones (fig. 35). Représentons les directions des portées par les lignes 1— α , α — β , β — ϵ , ϵ —2, 2— α' et la direction de la corde du polygone par la ligne pointillée 1— ν . On trouve que :

L'angle compris entre	1 — ν	et	1 — α	est égal à	$\gamma_1 + \delta_1 - \Delta_1$
»	»	»	1 — ν » $\alpha - \beta$	»	$\gamma_1 + \delta_1 - \Delta_1$
»	»	»	1 — ν » $\beta - \epsilon$	»	$\gamma_1 + \delta_1 - \Delta_1$
»	»	»	1 — ν » $\epsilon - 2$	»	$\gamma_1 + \delta_1 - \Delta_1$
»	»	»	2 — ν » 2 — α'	»	$\gamma_2 + \delta_2 - \Delta_2$
»	»	»	2 — ν » $\alpha' - \beta'$	»	$\gamma_2 + \delta_2 - \Delta_2$

et ainsi de suite.

2— ν représente la direction parallèle à la corde 1— ν . Quant à $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$, ce sont les différences des lectures compensées faites sur l'échelle, pour les deux extrémités d'une même portée, en soustrayant toujours la lecture la plus rapprochée du théodolite de la lecture la plus éloignée. Dans la fig. 35, δ_2 aurait le signe négatif, et sa valeur absolue devrait être soustraite de γ_2 .

Les valeurs $\gamma + \delta - \Delta$ obtenues finalement sont celles dont il faut se servir pour la réduction de la déviation ; et comme elles sont représentées par la tangente de l'angle correspondant à un rayon de 24^m de longueur, on pourrait employer le même tableau qui a servi pour la réduction du nivellement (p. 70), avec cette seule différence qu'il faudrait prendre le double des valeurs de réduction qui y sont indiquées, ce tableau

ayant été calculé pour des distances de 48^m. Mais il vaut mieux employer chaque fois un tableau spécial et nous donnons ci-après, un fragment de celui dont on s'est servi pour ce travail de réduction.

Réduction z en fonction de la tangente de la déviation pour une portée de 24 mètres.

Dévia- tion.	0,000	0,001	0 002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009
m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,00	0,0000	0,0000	0,0001	0,0002	0,0003	0,0005	0,0008	0,0010	0,0013	0,0017
01	002	003	003	004	004	005	005	006	007	008
02	008	009	010	011	012	013	014	015	016	018
03	019	020	021	023	024	026	027	029	030	032
04	033	035	037	038	040	042	044	046	048	050
05	052	054	056	058	061	063	065	068	070	072
06	075	077	080	083	085	088	090	093	096	099
07	102	105	108	111	114	117	120	123	126	130
08	133	136	140	143	147	150	154	158	161	165
09	169	172	176	180	184	188	192	196	200	204

Le tableau III donne, comme exemple, la réduction provenant de la déviation pour la section comprise entre les repères de contrôle n^{os} 1 et 2 et contenant les portées de 9 à 99.

N° d'ordre.	N° de la station.	Nombre des portées.	Lignes de station.				Ordonnées 0, à l'extrémité de la section $= n \delta$	Déviation pour 1 portée rapportée à la corde $\gamma = \nu - [\delta]$	Lignes intermédiaires.				Diff. Δ par portée	Déviation totale rapportée à la corde $= \delta + \gamma - \Delta$	Réduction finale
			Déviation		N° de la portée	Déviation									
			observée totale	observée pour 1 portée		observée			compensée						
1	9	4	+ 5,0	+ 1,25	+ 0,92	+ 82,8	+ 1,98	10	+ 0,5	+ 0,17	10	+ 0,17	+ 2,73	- 0,015	
2	13	4	0,0	0,00	- 0,33	- 28,4	+ 2,31	11	+ 1,5	+ 0,84	11	+ 0,84	+ 2,23	,010	
3	17	4	0,0	0,00	- 0,33	- 27,1	+ 2,64	12	+ 1,5	+ 0,51	12	+ 0,33	+ 3,23	,022	
4	21	3	+ 12,5	+ 4,17	+ 3,84	+ 299,8	- 1,20	13	+ 5,0	+ 3,68	13	+ 3,17	+ 0,27	,000	
5	24	3	- 16,5	- 5,50	- 5,83	- 437,5	+ 4,63	14	+ 2,0	+ 1,67	14	+ 1,67	+ 0,31	,000	
6	27	3	+ 3,5	+ 1,17	+ 0,84	+ 60,0	+ 3,79	15	0,0	0,66	15	- 2,33	+ 4,31	,038	
7	30	3	+ 2,5	+ 0,83	+ 0,50	+ 34,5	+ 3,29	16	0,0	0,99	16	- 0,33	+ 2,31	,011	
8	33	3	+ 3,5	+ 1,17	+ 0,84	+ 55,4	+ 2,45	17	0,0	1,32	17	- 0,42	+ 2,40	,012	
9	36	3	- 2,0	- 0,67	- 1,00	- 63,0	+ 3,45	18	+ 1,0	0,67	18	+ 0,67	+ 1,64	,005	
10	39	3	+ 8,5	+ 2,83	+ 2,50	+ 150,0	+ 0,95	19	+ 1,0	1,66	19	+ 2,33	+ 4,64	,045	
11	42	3	- 2,5	- 0,83	- 1,16	- 66,2	+ 2,41	20	0,0	0,99	20	+ 0,67	+ 1,64	,005	
12	45	3	0,0	0,00	- 0,33	- 17,8	+ 2,44	21	0,0	1,32	21	- 0,33	+ 2,64	,014	
								22	+ 4,0	3,67	22	+ 3,67	+ 1,03	,002	
								23	+ 9,0	8,34	23	+ 4,67	+ 2,03	,008	
								24	+ 12,5	11,51	24	+ 3,17	- 0,53	,001	
								25	- 6,0	6,33	25	- 6,33	+ 5,13	,055	
								26	- 10,0	10,66	26	- 10,66	+ 3,13	,020	
								27	- 16,5	17,49	27	- 16,5	+ 5,63	,066	
								28	- 1,0	1,33	28	- 1,33	+ 5,96	,074	
								29	+ 1,5	2,16	29	+ 0,83	+ 5,46	,062	
								30	+ 3,5	2,51	30	+ 4,67	- 0,01	,000	
								31	+ 1,0	0,67	31	+ 0,67	+ 3,12	,020	
								32	+ 2,0	1,34	32	+ 0,67	+ 3,12	,020	
								33	+ 2,5	1,51	33	+ 0,17	+ 3,62	,027	
								34	0,0	0,33	34	- 0,33	+ 3,62	,027	
								35	+ 5,0	4,34	35	+ 4,67	+ 1,38	,004	
								36	+ 3,5	2,51	36	- 1,83	+ 5,12	,054	
								37	- 2,0	2,33	37	- 2,33	+ 4,78	,048	
								38	- 3,0	3,66	38	- 1,33	+ 3,78	,030	
								39	- 2,0	2,99	39	+ 0,67	+ 1,78	,007	
								40	+ 1,0	0,67	40	+ 0,67	+ 2,78	,016	
								41	+ 7,0	6,34	41	+ 5,67	+ 2,22	,010	
								42	+ 8,5	7,51	42	+ 1,17	+ 2,28	,011	
								43	- 4,0	4,33	43	- 4,33	+ 5,28	,058	
								44	- 5,0	5,66	44	- 1,33	+ 2,28	,011	
								45	- 2,5	3,49	45	- 2,17	+ 1,22	,003	
								46	+ 0,5	0,17	46	+ 0,17	+ 1,94	,008	
								47	+ 1,0	1,66	47	+ 1,83	+ 3,94	,032	
								48	0,0	0,99	48	- 0,67	+ 1,44	,004	

Des réductions toutes semblables ont été faites pour les huit autres sections de la base correspondant à la voie rectiligne du tunnel. Nous n'en donnons pas le détail ici, afin de ne pas multiplier les grands tableaux de chiffres, et parce que nous estimons qu'un seul suffit comme exemple. Les résultats de ces réductions sont donnés dans la 7^{me} colonne du tableau IV (p. 89).

5. — Autres corrections.

Une autre correction est nécessitée par le fait que les poids tenseurs des fils employés à la mesure pesaient 10 kg., non compris le poids des crochets de suspension, qui est de 36 grammes; tandis que, pour la comparaison des fils à Sèvres, on s'était servi de poids de 10 kg. y compris le poids des crochets. D'après les expériences faites par M. Guillaume, il en résulte un allongement de 37μ pour chaque portée mesurée.

Enfin il y a lieu de corriger légèrement la portée mesurée à travers le Rhône avec le fil de 72^m, à cause de la modification de la chaînette provenant de la différence de hauteur des deux points de suspension.

6. — Résultats définitifs.

Le tableau IV de la page suivante fournit le résumé des calculs relatés dans les quatre paragraphes précédents. Il donne ainsi les *résultats définitifs* de la mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon avec toutes les corrections dont il a été question jusqu'ici.

TABLEAU IV

Sections.	Longueurs réduites ¹ avec correction de température.		Différence A—R	Longueurs moyennes.	Corrections communes aux deux mesures.				Longueurs moyen- nes corrigées.
	Aller.	Retour.			Pente.	Déviaton.	Tension du fil.	Chainette.	
I-II	31 596,99	31 596,99	0,00	31 596,99	—	—	0,04	—	31 597,03
II-III	289 611,51	289 610,05	+ 1,46	289 610,78	—	—	0,33	+ 0,07	289 611,18
III-1	212 901,76	212 902,17	— 0,41	212 901,97	—	—	0,33	—	212 902,30
1-2	2 184 688,63	2 184 694,47	— 5,84	2 184 691,55	—	4,67	—	—	2 184 687,99
2-3	2 401 015,33	2 401 017,36	— 2,03	2 401 016,34	—	5,17	—	—	2 401 013,36
3-4	2 401 096,20	2 401 102,14	— 5,94	2 401 099,17	—	4,85	—	—	2 401 097,05
4-5	2 400 924,13	2 400 936,07	— 14,94	2 400 930,10	—	4,94	—	—	2 400 927,64
5-6	2 351 887,27	2 351 887,14	+ 0,13	2 351 887,21	—	56,78	—	—	2 351 832,29
6-7	2 377 960,86	2 377 958,36	+ 2,50	2 377 959,61	—	58,29	—	—	2 377 903,37
7-8	2 401 346,12	2 401 350,02	— 3,90	2 401 348,07	—	60,02	—	—	2 401 290,40
8-9	2 401 317,52	2 401 315,08	+ 2,44	2 401 316,30	—	59,01	—	—	2 401 259,31
9-10	336 182,56	336 182,07	+ 0,49	336 182,32	—	8,19	—	—	336 174,45
10-IV	288 332,48	288 330,37	+ 2,11	288 331,42	—	—	—	—	288 331,86
IV-V	67 180,79	67 180,61	+ 0,18	67 180,70	—	—	—	—	67 180,81
Total	20 146 042,15	20 146 062,90	— 20,75	20 146 052,53	—	261,92	—	—	20 145 809,04

¹ Y compris la correction de pente pour les sections en dehors de la voie rectiligne.

7. — Erreurs probables et discussion des résultats.

D'après le tableau IV, la longueur totale de la base, entre les repères n° I et n° V, a été trouvée de :

$$20\,145^{\text{m}},809.$$

Pour déterminer l'erreur moyenne de cette mesure, on emploie la formule :

$$M = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n(n-1)}}$$

où n représente le nombre des mesures et $[\delta\delta]$ la somme des carrés des écarts δ entre la valeur moyenne trouvée et chacune des mesures.

La formule peut être appliquée aux résultats ci-dessus de deux manières différentes :

a) Au moyen des résultats de la longueur totale de la base : — on trouve au bas de la 4^{me} colonne du tableau IV, comme différence entre les deux mesures : — $20^{\text{mm}},75$. L'écart δ de chacune des deux mesures avec la moyenne est égal à la moitié, soit à $10^{\text{mm}},37$; $n = 2$, d'où :

$$M = \pm 10,4^{\text{mm}}$$

soit : $\frac{1}{1\,937\,000}$ de la longueur totale de la base.

b) En formant d'abord les erreurs moyennes $m_1, m_2, m_3 \dots$ pour chaque section à part : — on trouve alors l'erreur moyenne de la base entière par la formule :

$$M' = \pm \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 \dots} = \pm \sqrt{[mm]}.$$

Les m sont donnés, pour chaque section, par les différences $A-R$ du tableau IV, divisées par 2; on trouve ainsi :

Section	m mm	m^2
I — II	+ 0,0	0,00
II — III	+ 0,7	0,49
III — 1	— 0,2	0,04
1 — 2	— 2,9	8,41
2 — 3	— 1,0	1,00
3 — 4	— 3,0	9,00
4 — 5	— 6,0	36,00
5 — 6	+ 0,1	0,01
6 — 7	+ 1,2	1,44
7 — 8	— 1,9	3,61
8 — 9	+ 1,2	1,44
9 — 10	+ 0,2	0,04
10 — IV	+ 1,1	1,21
IV — V	+ 0,1	0,01

$$\text{d'où : } M' = \pm \sqrt{62,70} = \pm 7^{\text{mm}},9$$

$$\text{soit : } \frac{1}{2\,550\,000} \text{ de la longueur totale de la base.}$$

$$[mm] = 62,70$$

Les mesures de bases géodésiques exécutées en Suisse en 1880 et en 1881 au moyen de l'appareil Ibañez¹ ont fourni les erreurs moyennes suivantes, sans compter les incertitudes de l'étalonnage et de la température :

Base d'Aarberg,	2400 mètres ;	erreur moyenne	$\pm 0^{\text{mm}},6 = \frac{1}{4\,000\,000}$
» de Weinfeldén,	2540 mètres ;	»	$\pm 1^{\text{mm}},4 = \frac{1}{1\,800\,000}$
» de Bellinzone,	3200 mètres ;	»	$\pm 1^{\text{mm}},1 = \frac{1}{2\,900\,000}$

On pourrait conclure de ces indications, que la mesure de la base du Simplon a à peu près le même degré de précision que celles des bases qui ont servi à établir le réseau de triangulation de la Suisse. Mais en examinant plus en détail les différences $A-R$ du tableau IV, il semble pourtant que des erreurs systématiques ont dû influencer les mesures au Simplon. On constate, en effet, que, pour toute la partie de la base comprise entre les repères n° III et n° 5, les différences entre les deux mesures, aller et retour, ont le signe *moins* pour toutes les sections et ascendent jusqu'à $\frac{1}{200\,000}$ de la longueur de l'une des sections. Or cette partie de la base, à l'exception des 33 dernières portées de la section 4-5, a été mesurée une fois avec le fil n° 98, et l'autre fois avec le

¹ Voir plus haut, p. 2, et *Le réseau de triangulation suisse (Das schweizerische Dreiecknetz)*, vol. III, *La mensuration des bases* par A. HIRSCH et J. DUMUR, Lausanne, 1888, p. 94, 97 et 99.

fil n° 99. La somme des différences $A-R$ pour les sections de cette partie de la base est égale à $-26^{\text{mm}},2$, sur 9601 mètres soit $-2^{\text{mm}},7$ par kilomètre, ou $\frac{1}{370\,000}$. Pour la partie restante de la base, du repère n° 5 au repère n° IV, mesurée dans les deux sens avec le fil n° 99, les différences $A-R$ ont au contraire, cinq fois sur six, le signe *plus*; et la somme des différences atteint seulement $3^{\text{mm}},8$ sur 10 156 mètres, soit $+0^{\text{mm}},37$ par kilomètre ou $\frac{1}{2\,690\,000}$.

Tandis que, pour cette deuxième partie du tunnel, les différences trouvées restent dans les limites d'une précision satisfaisante, elles les dépassent dans la première partie, et il est nécessaire de rechercher la raison de cette divergence entre les deux parties de la base. Nous allons passer en revue quelques-unes des causes auxquelles on pourrait la rapporter.

a) *Équations des fils.* — Comme les différences anormales se rapportent toutes à la partie du tunnel mesurée successivement avec les deux fils, on pourrait être tenté de croire à une incertitude dans l'équation de ces derniers. L'étude de la longueur des fils n° 98 et 99 qui a été poursuivie depuis le mois de septembre 1905 jusqu'au mois d'avril 1906 sur la base du sous-sol du Bureau international des poids et mesures à Sèvres fournit cependant la preuve du contraire.

Le chapitre VI de ce volume contient les résultats des comparaisons de tous les fils qui ont été employés pour la mesure de la base. Or les 49 séries d'observations du fil n° 99 donnent, pour la moyenne de la longueur constatée, une erreur moyenne de $\pm 0^{\text{mm}},005$ seulement, et l'erreur moyenne d'une seule série d'observations n'est que de $\pm 0^{\text{mm}},03$. Entre les comparaisons faites avant et après la mesure de la base on ne peut pas constater de différence plus grande que celles qui sont de l'ordre des erreurs d'observation.

Le degré de précision pour la détermination du fil n° 98 est le même que pour le fil n° 99. Ce fil n° 98 a subi un raccourcissement par le fait de l'accident du 19 mars 1906. Ce raccourcissement a été constaté :

1° Par la mesure de la portée n° 368 immédiatement avant et après l'accident :	différence = $-0,15^{\text{mm}}$	
2° Par les mesures faites sur le comparateur de Brigue :		
avant l'accident, le 17 mars 1906, la différence, fil 98—fil 99, était =	$+0,66$	
après » le 20 mars 1906, » » » » » » » » »	$+0,56$	
» » le 23 mars 1906, » » » » » » » » »	$+0,505$	
	Différence moyenne : $= -0,125$	
3° Par les mesures faites sur le comparateur de Sèvres. Fil 98		
	avant la mesure de la base 23 999,955	
	après » » » » » » » » » » » » » »	23 999,83
	Différence accusant un raccourcissement = $-0,125$	

Les trois séries de comparaisons concordent dans les limites des erreurs d'observation, soit au millionième.

Une incertitude dans la valeur des coefficients de dilatation ne pourrait pas non plus influencer les résultats, puisque, dans les mêmes régions du tunnel, la température ne variait pas sensiblement entre le moment de la mesure de l'aller et le moment de celle du retour. Enfin, dans la section 4—5, où la différence entre les opérations d'aller et de retour atteint sa valeur maximum, les deux tiers seulement des portées ont été mesurés avec les deux fils.

Les erreurs systématiques des mesures des sections de la première moitié de la base ne peuvent donc être attribuées que pour une très faible part (un millionième) aux incertitudes résultant des comparaisons des fils.

b) Déviation du fil à plomb par le fait du courant d'air de la ventilation pendant le centrage des repères mobiles sur les repères de contrôle. — Pendant la mesure de la base, les ventilateurs du tunnel produisaient un courant continu allant dans le sens d'Iselle à Brigue. Comme nous l'avons dit précédemment (p. 37) on n'employait, pendant la mesure de l'aller et une partie de celle du retour, qu'un écran en toile pour protéger le fil à plomb pendant le centrage sur les repères de contrôle. A la mesure du retour, lorsque l'équipe III arriva au repère n° 4, on constata une différence de 2 à 3 millimètres suivant que le fil à plomb était plus ou moins bien protégé contre l'influence du courant d'air. Depuis ce moment, la protection du fil à plomb s'est faite non seulement au moyen de l'écran, mais aussi par l'emploi des couvre-repères semi-cylindriques. Il résulte de ce changement de dispositif que, à l'aller, on a dû obtenir pour la section 4—5 une longueur différant de 2 à 3 millimètres de celle du retour, puisque le fil à plomb devait s'écarter davantage de la verticale au premier repérage sur le repère n° 4. Mais cette considération n'expliquerait l'erreur systématique que pour la section 4—5, et seulement pour une faible part.

On ne pourrait expliquer de la même façon les divergences pour les autres sections que si l'on était autorisé à supposer que le courant d'air a diminué progressivement depuis le commencement de la mesure jusqu'à l'arrivée au repère n° 4. Or, d'après les informations prises auprès de l'ingénieur qui surveillait la marche des ventilateurs, celle-ci n'a pas été changée pendant toute la durée de la mesure de la base du tunnel.

Si cependant on étudie de plus près les variations de la température telle qu'on la lisait sur les thermomètres attachés aux repères mobiles, on trouve des chiffres parfois assez différents pour les mêmes emplacements du tunnel à l'aller et au retour. C'est ce que montre le tableau suivant :

Portées.	Températures moyennes.				Différence R—A	Différence moyenne par section ¹ .
	Aller.		Retour.			
	Date, heure.	temp.	Date, heure.	temp.		
11-20	18 III 9 am	16°,7	23 III 6 am	20°,1	+ 3°,4	+ 3°,5 (sect. entre les repères 1 et 2)
51-60	12 m	19,2	4 1/2 am	22,7	+ 3,5	
101-110	3 pm	22,2	3 am	24,7	+ 2,5	+ 1,6 (sect. repères 2 et 3)
151-160	6 pm	23,7	0 am	25,5	+ 1,8	
201-210	9 pm	25,4	22 III 10 pm	26,2	+ 0,8	+ 0,2 (sect. repères 3 et 4)
251-260	19 III 0 am	26,9	8 pm	26,7	- 0,2	
301-310	4 1/2 am	27,7	5 1/2 pm	27,5	- 0,2	- 0,7 (sect. repères 4 et 5)
351-360	8 1/2 am	27,7	3 pm	27,2	- 0,5	
401-410	12 1/2 pm	27,2	12 m	25,5	- 1,7	- 0,9 (sect. repères 5 et 6)
451-460	3 1/2 pm	27,0	8 1/2 am	26,3	- 0,7	
501-510	6 pm	25,9	5 1/2 am	25,2	- 0,7	- 1,4 (sect. repères 6 et 7)
551-560	9 pm	24,8	3 am	23,5	- 1,3	
601-610	20 III 0 1/2 am	21,2	0 1/2 am	19,7	- 1,5	- 1,3 (sect. repères 7 et 8)
651-660	3 1/2 am	19,7	21 III 10 pm	18,8	- 0,9	
701-710	7 am	19,7	6 1/2 pm	17,7	- 2,0	- 1,8 (sect. repères 8 et 9)
751-760	9 1/2 am	15,8	4 1/2 pm	14,8	- 1,0	
801-810	12 m	10,2	1 1/2 pm	7,3	- 2,9	

Comme on le voit, les différences entre les températures observées au retour et à l'aller, pour les mêmes sections, suivent une marche assez régulière. Elles sont positives pour les sections comprises entre les repères de contrôle n° 1 à 4, tandis qu'elles sont négatives pour toutes les autres. Ces différences ne peuvent pas être expliquées par une variation appréciable dans la température de l'air soufflé par le ventilateur d'Iselle. Il suffit, pour s'assurer de cette impossibilité, de vérifier les heures des lectures des thermomètres dans le tableau ci-dessus. On constate ainsi que les températures lues vers minuit, soit le 20, soit le 22 mars, entre les portées 601 et 610, diffèrent de 1°,5 ; et de même que, pour la portion de la base comprise entre les portées 51 et 60, la température était de 3°,5 plus basse le 18 mars à midi que le 23 mars à 4 h. 1/2 du

¹ Les différences qui figurent dans la dernière colonne ont été calculées sur la moyenne de toutes les températures observées dans chaque section.

matin. Ajoutons encore que, pendant toute la durée de la mesure, jusqu'à la dernière nuit, du 22 au 23, la situation atmosphérique a été assez constante.

Mais on doit aussi, dans l'examen de cette question, prendre en considération la marche de la ventilation pendant la période qui a immédiatement précédé la mesure. Or, jusqu'à la nuit du 17 au 18 mars, la ventilation a soufflé en sens inverse, de Brigue vers Iselle. Il en résulte naturellement qu'à l'époque du début de la mesure, le 18 mars, les parois de la section du tunnel voisine de Brigue devaient être encore sensiblement refroidies, et que celles de la section du tunnel voisine d'Iselle devaient être au contraire relativement chaudes. Ce fait seul suffit à expliquer les différences de température signalées plus haut, sans qu'il soit nécessaire de conclure à une variation d'intensité du courant d'air¹. Au reste on ne pourrait attribuer à une variation, somme toute assez faible, du courant d'air, qu'une petite partie des irrégularités de température que nous avons constatées.

Les changements dépendant des variations de la ventilation, comme aussi ceux qui auraient pu se produire par le fait du déplacement des repères de contrôle sous l'influence de la marche des trains ne se rapportent qu'aux distances mesurées entre les repères de contrôle. Ils n'ont aucune influence sur la distance totale entre les repères fixes situés en dehors du tunnel, et leurs déplacements éventuels n'exerceraient aucune action sur la longueur totale de la base. Ces réflexions montrent donc qu'il est préférable dans ce cas de calculer l'erreur moyenne de la base par la première méthode, indiquée à la page 90, qui fournit la valeur : $\pm 10^{\text{mm}},4$.

L'essai a aussi été fait de déterminer l'influence des *erreurs de lecture* sur la mesure de la longueur de la base. Parmi les observations faites par chacune des trois équipes, on a choisi trois séries de vingt portées consécutives dans la première et la deuxième partie de la mesure de l'aller et dans la deuxième partie de celle du retour. Chaque série commence après que chaque équipe avait mesuré déjà environ vingt portées.

Calculant d'abord l'erreur moyenne m de chaque portée par les divergences des cinq² mesures individuelles consécutives, et faisant la moyenne générale pour les n portées considérées, on obtient une erreur moyenne d'ensemble, par portée, au moyen de la formule :

$$M_m = \sqrt{\frac{[m]^2}{n-1}}$$

Cette formule donne les résultats suivants :

¹ Remarquons toutefois que, même si la marche du ventilateur est restée la même, le courant d'air a pu varier, soit par suite d'une différence de pression atmosphérique entre Brigue et Iselle, soit par le fait de l'ouverture d'une porte de la galerie de direction d'Iselle ou de celle d'une traverse.

² Il y en avait davantage quand le nombre des lectures avait été augmenté.

	ÉQUIPE I		ÉQUIPE II		ÉQUIPE III	
	Portées. $\sqrt{\frac{[m^2]}{n-1}}$		Portées. $\sqrt{\frac{[m^2]}{n-1}}$		Portées. $\sqrt{\frac{[m^2]}{n-1}}$	
	mm		mm		mm	
Aller..	21-40	$\pm 0,029$	111-130	$\pm 0,034$	251-270	$\pm 0,034$
»	341-360	$\pm 0,039$	461-480	$\pm 0,038$	601-620	$\pm 0,038$
Retour	180-161	$\pm 0,039$	470-451	$\pm 0,042$	350-331	$\pm 0,035$
	Erreur moyenne des 60 portées :					
	$\pm 0,035$		$\pm 0,037$		$\pm 0,035$	

En accumulant, sur les 823 portées du tunnel cette erreur moyenne provenant des erreurs de lecture, elle ne pourrait atteindre qu'une valeur maximum de :

$$\pm 0^{\text{mm}},036 \sqrt{823} = 1^{\text{mm}} \text{ environ.}$$

Mais il faut pour cela qu'on puisse les considérer comme des erreurs accidentelles. Or il y a lieu de supposer que les lectures contiennent aussi quelques erreurs systématiques.

La mesure faite à travers le Rhône au moyen du fil de 72 mètres, chargé de 20 kg., a montré qu'on obtient des résultats différents pour la distance entre deux repères mobiles, suivant que le déplacement du fil d'une lecture à l'autre se fait de gauche à droite, c'est-à-dire par lectures croissantes, ou de droite à gauche, par lectures décroissantes. Ces différences doivent être attribuées à une irrégularité de tension du fil, provoquée par le frottement des poulies des piquets-tenseurs. Elles ont été éliminées dans ce cas spécial par un nombre égal de séries de lectures faites suivant les deux procédés mentionnés plus haut, dont on a pris ensuite la moyenne.

Comme on n'a pas employé le même mode d'observation pour les portées mesurées avec les fils de 24 mètres, sous 10 kg. de charge, il importe de rechercher s'il en résulte des erreurs appréciables. M. Knapp s'est livré à cette recherche, sans arriver cependant à des conclusions suffisamment précises.

On a constaté un autre fait singulier en comparant les *mesures faites sur la même portée par deux équipes successives* lors d'un changement de service. Dans neuf cas sur douze, la mesure faite par l'équipe montante est plus faible que celle faite par l'équipe descendante; dans les trois autres cas les valeurs, de signe inverse, sont minimes ou nulles. Il n'a pas été possible de trouver une explication plausible de ce fait. Il ne semble pas être causé par une tension prolongée du fil dans l'intervalle écoulé entre les deux mesures, car il ne se présente rien d'analogue dans les cas où une même équipe mesurait une portée deux fois, avant et après un intervalle de repos.

Ajoutons enfin que l'on peut toujours admettre l'hypothèse que, pour les sections de la base, pour lesquelles la divergence entre les mesures de l'aller et du retour atteint une valeur de quelques millimètres, cette divergence peut provenir d'un léger déplacement, resté inaperçu, d'un des repères mobiles.

Malgré les anomalies diverses, accidentelles ou systématiques, dont il vient d'être question, on peut considérer comme satisfaisants les résultats obtenus dans la mesure du tunnel. Et l'on peut admettre que la précision de la mesure de la base géodésique du tunnel du Simplon reste dans les limites de *un à deux millionièmes*.

8. — Réduction à l'axe du tunnel et à une même altitude. — Conclusion.

La longueur de la base du Simplon déduite de la moyenne des mesures est de

20 145^m,809.

Si l'on désire comparer cette longueur à celle qui avait été trouvée par M. Rosenmund lors de la triangulation du tunnel du Simplon, il faut la rapporter aux mêmes points terminaux et à la même altitude.

Ainsi qu'il a été dit plus haut, la ligne de la base est déplacée de 0^{mm},245 vers le nord-est, parallèlement à l'axe même du tunnel. Sur le centre du pilier de l'observatoire de Brigue situé dans cet axe, l'angle compris entre la droite passant par le terme de la base et la direction du tunnel est de 90°5'. Sur le centre du pilier de l'observatoire d'Iselle, les deux directions correspondantes forment un angle de 89°30'. En projetant, au moyen de ces angles, la base sur les repères correspondants situés dans l'axe du tunnel, on trouve un raccourcissement de 0^{mm},36 du côté de Brigue, et un allongement de 2^{mm},12 du côté d'Iselle, soit une longueur entre les centres des observatoires de 20 145^m,811.

La longueur de l'axe du tunnel du Simplon entre les deux observatoires, calculée par la triangulation, se rapporte à une altitude de 696^m,74¹. Or les repères principaux ont les altitudes suivantes :

¹ Voir *Spezial-Berichte über den Bau des Simplontunnels*. I. Teil : *Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse*, Bearbeitet von M. Rosenmund, Bern 1901, p. 51.

Le niveau serait de 700 m. si l'on admettait, avec la carte Dufour, que l'altitude du repère de la Pierre du Nitou est de 376^m,86; il est de 696^m,74 en admettant, pour ce repère, la cote plus récemment déterminée de 373^m,60.

Observatoire de Brigue; plancher à	684 ^m environ.
Signal nord du tunnel portant le rep. n° II à	679 ^m ,7 (niveau du sol).
Repère n° III	» 682 ^m ,5 » »
» 1	» 683 ^m ,0 (niveau du rail).
» 5 (point culminant)	» 701 ^m ,7 » »
» IV	» 630 ^m ,1 (niveau du sol).
Observatoire d'Iselle, plancher à	» 630 ^m ,1 environ.

Si l'on ajoute encore un mètre comme hauteur de la ligne de mesure de la base au-dessus du sol on obtient les altitudes moyennes et les réductions du tableau suivant :

Section	Altitude moyenne	Distances mesurées (réduites à l'axe du tunnel)	Excès de l'altitude 696 ^m ,7	Augmentation par projection sur la cote 696 ^m ,7	Longueur réduite à 696 ^m ,7
	m	m	m	m	m
I-II	682,8	31,597	+ 13,9	+ 0,000 ₁	31,597
II-III	682,1	289,611	+ 14,6	+ 0,000 ₆	289,612
III-1	683,8	212,902	+ 12,9	+ 0,000 ₄	212,902
1-5	693,4	9 387,726	+ 3,3	+ 0,004 ₉	9 387,731
5-IV	666,9	10 156,792	+ 29,8	+ 0,047 ₅	10 156,839
IV-V	630,1	67,183	+ 66,6	+ 0,000 ₇	67,184
		20 145,811		+ 0,054 ₂	20 145,865

La longueur de la base géodésique du tunnel du Simplon, mesurée au moyen des fils d'invar, réduite à l'axe du tunnel et à une altitude moyenne de 696^m,74 est ainsi de

20 145^m,865 ;

tandis que la triangulation faite pour la détermination de l'axe du tunnel, en partant de la base de Bellinzone, avait donné une longueur de

20 145^m,23.

Cette différence de 0^m,63 n'a rien qui doive surprendre. Elle s'écarte peu de l'erreur probable de 0^m,56 qui provient, d'après les calculs de M. Rosenmund¹, de la triangulation de jonction entre la base de Bellinzone et le réseau du Simplon; et c'est à cette triangulation que la plus grande partie de cette erreur doit être attribuée.

¹ Voir *Spezial-Berichte, etc., Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse*, p. 58.

CHAPITRE VI

RAPPORT SUR L'ÉTUDE DES FILS EMPLOYÉS PAR LA COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE A LA MESURE DE LA BASE DU SIMPLON

1. — Description des fils.

Les fils en invar étudiés au Bureau international des poids et mesures, à la demande de la Commission géodésique suisse, sont au nombre de sept, savoir :

1° Trois fils de 24 mètres, portant les marques A_{31} , A_{32} , A_{33} ; ces fils, pris dans la coulée n° 259, ont été achevés par M. Démichel à Paris.

2° Trois fils de 24 mètres, n° 64, 98 et 99, pris dans la coulée n° 617 *bis*.

3° Un fil de 8 mètres, n° 83, de la coulée n° 617 *bis*.

4° Un fil de 72 mètres, n° 100, de la coulée n° 617 *bis*.

Les fils des trois derniers groupes ont été achevés par M. Carpentier à Paris ; le dernier a été livré au Bureau international muni d'une seule réglette, mis de longueur par comparaison sur notre base de 72 mètres, et rendu au constructeur pour recevoir sa deuxième réglette.

Tous ces fils portent des réglettes échancrées de manière à amener l'extrémité de la division à une arête faisant suite à l'axe du fil. La division est en traits fins, et s'étend sur un intervalle de 8 centimètres.

Les fils A_{31} , A_{32} , A_{33} , livrés en septembre 1903, datent de l'époque de nos premiers essais avec les réglettes du nouveau modèle. Ces réglettes sont relativement lourdes et présentent quelques arêtes vives ; elles sont fixées aux fils par soudage¹, par l'intermédiaire d'appendices cylindriques, également soudés aux réglettes.

¹ A l'exception du fil A_{32} , cassé pendant les épreuves de traction, et qui, à l'occasion de son remplacement, a été relié aux réglettes par le procédé employé pour les autres fils.

Le fil n° 64, livré en juin 1905, les fils n°s 98 et 99, reçus en septembre 1905, et les deux fils n°s 83 et 100, ajustés en octobre 1905, ont des réglottes plus légères, orientées sur le fil de manière à se placer d'elles-mêmes parallèlement, sans qu'il soit nécessaire de leur imposer une torsion. Les réglottes ont des arêtes arrondies ; les fils sont fixés aux réglottes sans soudure ; ils sont vissés à fond et matés dans les appendices, qui sont, à leur tour, goupillés dans leur logement.

2. — Dilatation des fils.

Le coefficient de dilatation des fils a été déterminé sur des échantillons prélevés sur les mêmes coulées. Le premier de ces échantillons (coulée 259), porté par une barre d'invar, et soumis, à l'aide d'un ressort, à la tension de 10 kg., a été comparé, à une série de températures comprises entre 0°,8 et 37°,7 environ, à une règle de platine iridié. L'autre échantillon, tendu sur la même barre d'invar au moyen d'un levier, a été comparé, sensiblement dans les mêmes limites de température, à une règle d'invar. Les coefficients de dilatation trouvés pour les deux coulées ont les valeurs suivantes :

$$\text{N}^{\circ} 259 : \quad \alpha = (+ 0,028 - 0,00232 t) 10^{-6}.$$

$$\text{N}^{\circ} 617 \text{ bis} : \quad \alpha = (+ 0,793 + 0,00016 t) 10^{-6}.$$

Ces formules donnent les dilatations moyennes entre 0° et t° en fonction des températures exprimées dans l'échelle du thermomètre à mercure en verre dur.

L'identité pratique de dilatation dans une même coulée et l'exactitude relative des coefficients ont été vérifiées par des comparaisons des fils entre eux, faites à des températures différentes. Le détail de ces comparaisons sera donné plus loin, § 4.

3. — Détermination de l'équation des fils.

La détermination de la longueur des fils au Bureau international est effectuée par comparaison avec une base dont les repères sont scellés dans un mur épais, limitant un long couloir en sous-sol de l'observatoire du Bureau. Ces repères sont constitués par des plaques de métal verticales, portant chacune un trait aboutissant à l'arête inférieure de la plaque. Les repères sont à des distances respectives de 4 mètres, définissant un intervalle total de 24 mètres ; un repère supplémentaire prolonge la base jusqu'à 25 mètres.

Extérieurement aux repères extrêmes, la muraille porte des poulies montées sur billes, dans les gorges desquelles passent des cordes supportant des poids de 10 kg., et que l'on attache aux fils pour les soumettre à leur tension normale.

Les réglettes sont amenées contre les repères, avec leur arête divisée tournée vers le haut. Pour comparer la longueur des fils à celle de la base, deux observateurs appliquent les réglettes contre les repères, lisent la position des traits de ceux-ci en fonction des échelles millimétriques des réglettes, déplacent le fil dans le sens longitudinal, et répètent cinq fois la même opération dans des positions quelconques et sans cesse variables des échelles ; puis ils échangent leurs places et recommencent la mesure. Le résultat de cette opération constitue une unité de mesure. Elle est répétée en général dix fois à des jours différents, puis le fil est enroulé et repris ultérieurement.

La valeur vraie de la base est déterminée deux fois par an, aux époques du maximum et du minimum annuel de la température ; on lui compare, dans les jours qui précèdent et qui suivent cette détermination, une série de fils appartenant au Bureau, et qui servent au contrôle permanent de sa longueur. La base est ainsi déterminée, par leur moyen, tous les jours où elle sert à mesurer d'autres fils, c'est-à-dire au moins une fois par semaine.

L'ensemble des observations ainsi faites sur les fils employés à la mesure du Simplon a conduit aux résultats reproduits dans les tableaux qui vont suivre.

Fils A_{31} , A_{32} , A_{33} . — Ces trois fils, dont la Commission géodésique suisse ne prévoyait pas un usage prochain, ont été d'abord soumis à une longue série d'essais, comportant des tractions, des enroulages et des battages, destinés à déterminer la grandeur de leurs variations sous ces diverses actions, et à fixer finalement les meilleures

conditions de leur permanence. Les résultats de ces expériences ont été résumés, avec d'autres, dans la notice que nous avons consacrée, M. Benoit et moi, à la description du nouveau matériel de mesure des bases. C'est seulement après l'achèvement de ces essais qu'il a été procédé à la détermination de l'équation de ces fils. Le tableau suivant contient les résultats des comparaisons réduits à 15°, et groupés en moyennes de cinq et de dix mesures.

		Valeurs à 15° — 24 m.				Observateurs { Guillaume. Tarrade.	
Dates.	Temp.	Fil A ₅₁	Moy.	Fil A ₅₂	Moy.	Fil A ₅₃	Moy.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1904 3 sept.	16°,38	+ 0,46	+ 0,51	+ 1,51	+ 1,53	+ 0,26	+ 0,27
5 »	16,26	+ 0,47		+ 1,54		+ 0,26	
10 »	16,10	+ 0,57		+ 1,54		+ 0,27	
17 »	15,59	+ 0,57		+ 1,54		+ 0,24	
24 »	14,71	+ 0,47		+ 1,54		+ 0,30	
29 »	14,37	+ 0,47		+ 1,56		+ 0,30	
29 »	14,37	+ 0,47	+ 1,58	+ 0,30			
1 oct.	14,33	+ 0,51	+ 0,52	+ 1,57	+ 1,56	+ 0,31	+ 0,33
1 »	14,33	+ 0,54		+ 1,52		+ 0,35	
3 »	14,29	+ 0,61		+ 1,58		+ 0,36	
			+ 0,51		+ 1,55		+ 0,30
3 déc.	9,45	+ 0,49	+ 0,49	+ 1,48	+ 1,47	+ 0,30	+ 0,29
5 »	9,47	+ 0,50		+ 1,51		+ 0,31	
7 »	9,57	+ 0,47		+ 1,45		+ 0,24	
10 »	9,58	+ 0,49		+ 1,47		+ 0,35	
12 »	9,66	+ 0,48		+ 1,43		+ 0,24	
17 »	9,46	+ 0,46		+ 1,41		+ 0,26	
31 »	8,30	+ 0,51	+ 1,49	+ 0,29			
31 »	8,30	+ 0,50	+ 0,49	+ 1,50	+ 1,48	+ 0,29	+ 0,26
1905 3 janv.	7,74	+ 0,50		+ 1,51		+ 0,25	
3 »	7,74	+ 0,50		+ 1,47		+ 0,22	
			+ 0,49		+ 1,47		+ 0,27
4 mars	8,59	+ 0,40	+ 0,45	+ 1,48	+ 1,48	+ 0,25	+ 0,26
9 »	8,68	+ 0,48		+ 1,48		+ 0,26	
13 »	9,18	+ 0,46		+ 1,46		+ 0,26	
20 »	9,36	+ 0,45		+ 1,49		+ 0,25	
23 »	9,40	+ 0,46		+ 1,51		+ 0,26	
25 »	9,62	+ 0,46		+ 1,46		+ 0,24	
30 »	9,44	+ 0,44	+ 1,51	+ 0,29			
1 avril	9,46	+ 0,45	+ 0,46	+ 1,51	+ 1,51	+ 0,30	+ 0,28
3 »	9,57	+ 0,43		+ 1,53		+ 0,27	
8 »	9,63	+ 0,50		+ 1,55		+ 0,29	
			+ 0,46		+ 1,50		+ 0,27

		Valeurs à 15° — 24 m.				Observateurs { Guillaume. Tarrade.	
Dates.	Temp.	Fil A ₃₁	Moy.	Fil A ₃₂	Moy.	Fil A ₃₃	Moy.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1905	9 sept.	15,86	+ 0,53	+ 1,44		+ 0,28	
	13 »	15,55	+ 0,51	+ 1,38		+ 0,27	
	16 »	15,26	+ 0,51	+ 1,44	+ 1,45	+ 0,29	+ 0,28
	21 »	15,04	+ 0,53	+ 1,47		+ 0,28	
	23 »	14,95	+ 0,50	+ 1,51		+ 0,29	
	27 »	14,75	+ 0,57	+ 1,52		+ 0,32	
	30 »	14,60	+ 0,46	+ 1,42		+ 0,29	
	4 oct.	14,20	+ 0,50	+ 1,47	+ 1,48	+ 0,28	+ 0,29
	7 »	13,91	+ 0,54	+ 1,49		+ 0,28	
	11 »	13,49	+ 0,48	+ 1,48		+ 0,27	
			+ 0,51		+ 1,46		+ 0,28
1906	31 janv.	9,56	+ 0,52	+ 1,45		+ 0,26	
	31 »	9,58	+ 0,55	+ 1,47		+ 0,25	
	2 févr.	9,65	+ 0,46	+ 1,50	+ 1,48	+ 0,27	+ 0,28
	3 »	9,65	+ 0,57	+ 1,51		+ 0,30	
	3 »	9,80	+ 0,56	+ 1,47		+ 0,32	
	7 »	9,78	+ 0,52	+ 1,45		+ 0,27	
	7 »	9,81	+ 0,49	+ 1,45		+ 0,28	
	17 »	9,66	+ 0,45	+ 1,45	+ 1,46	+ 0,32	+ 0,30
	17 »	9,66	+ 0,48	+ 1,43		+ 0,32	
	20 »	9,89	+ 0,45	+ 1,49		+ 0,32	
			+ 0,50		+ 1,47		+ 0,29
	20 févr.	9,89	+ 0,41	+ 1,53		+ 0,36	
	20 »	9,92	+ 0,42	+ 1,49		+ 0,21	
	21 »	9,94	+ 0,44	+ 1,44	+ 1,48	+ 0,29	+ 0,28
	22 »	9,94	+ 0,50	+ 1,49		+ 0,29	
	24 »	9,94	+ 0,49	+ 1,46		+ 0,26	
	26 »	9,96	+ 0,45	+ 1,46		+ 0,23	
	1 mars	10,19	+ 0,35	+ 1,44		+ 0,27	
	2 »	10,26	+ 0,32	+ 1,46	+ 1,47	+ 0,19	+ 0,24
	3 »	10,42	+ 0,40	+ 1,47		+ 0,24	
	7 »	10,23	+ 0,43	+ 1,51		+ 0,29	
	8 »	10,19	+ 0,38	+ 1,48		+ 0,18	
	9 »	10,20	+ 0,32	+ 1,44		+ 0,30	
	10 »	10,14	+ 0,33	+ 1,53	+ 1,49	+ 0,30	+ 0,25
	10 »	10,15	+ 0,38	+ 1,50		+ 0,24	
			+ 0,40		+ 1,48		+ 0,26

Dates.	Temp.	Valeurs à 15° — 24 m.				Observateurs } Guillaume. Tarrade.	
		Fil A ₃₁	Moy.	Fil A ₃₂	Moy.	Fil A ₃₃	Moy.
		mm	mm	mm	mm	mm	mm
1906 29 mars	8°,31	+ 0,46	+ 0,47	+ 1,39	+ 1,42	+ 0,26	+ 0,28
30 »	8,28	+ 0,45		+ 1,44		+ 0,25	
31 »	8,24	+ 0,48		+ 1,41		+ 0,28	
2 avril	8,22	+ 0,48		+ 1,43		+ 0,33	
3 »	8,23	+ 0,50		+ 1,44		+ 0,31	
7 »	8,53	+ 0,45	+ 0,47	+ 1,45	+ 1,42	+ 0,26	+ 0,27
9 »	8,78	+ 0,45		+ 1,37		+ 0,25	
10 »	8,90	+ 0,49		+ 1,42		+ 0,27	
11 »	9,08	+ 0,48		+ 1,43		+ 0,27	
11 »	9,16	+ 0,48		+ 1,41		+ 0,28	
			+ 0,47		+ 1,42		+ 0,28

Les traitements antérieurs à l'époque des premières observations portées dans ce tableau avaient été un peu différents pour les trois fils. Avant la première mesure ci-dessus, le fil A₃₂ était, depuis cinq mois déjà, déroulé dans le sous-sol. Les fils A₃₁ et A₃₃ venaient d'être déroulés, après être restés enroulés pendant sept mois. Le 17 septembre 1905, le fil A₃₂, qui présentait quelques taches de rouille, a été repoli avec précaution.

Dans la suite, les fils ont toujours subi les mêmes traitements. Restés enroulés pendant deux mois, du 3 octobre 1904 au 3 décembre 1904, deux mois encore du 3 janvier 1905 au 4 mars 1905, cinq mois du 8 avril 1905 au 9 septembre 1905, ils étaient restés étendus, après l'observation du 11 octobre, et n'avaient été enroulés que le 15 janvier 1906. Ils furent observés d'une façon continue, du 30 janvier au 10 mars 1906. Après la première mesure du 20 février 1906, la direction des réglettes a subi une légère rectification, pour les trois fils.

Le 10 mars, les fils furent enroulés en vue de leur transport à Brigue. Ils furent rapportés au Bureau, après la mesure du Simplon, pour être comparés de nouveau.

L'examen des nombres du tableau précédent montre que, pendant toute la durée de leur étude au Bureau, les fils ont conservé à très peu près la même valeur. Les écarts individuels des mesures sont, en effet, fortement atténués dans les moyennes de cinq, et plus encore dans celles de dix observations. La rectification des réglettes a peut-être un peu raccourci le fil A₃₁; mais il est remonté à sa valeur précédente après le retour de Brigue. Au contraire, les dernières déterminations du fil A₃₂ le montrent un peu plus court qu'avant son départ; mais les variations sont faibles; et, comme la construction de ces fils laisse à désirer, la valeur de ces changements dépasse assez peu les erreurs possibles des observations pour qu'on ne puisse pas, en toute certitude, affirmer leur

réalité. Les comparaisons avec d'autres fils nous montreront bientôt qu'elle est, en effet douteuse.

Fil n° 64. — Ce fil, qui était destiné aux exercices préliminaires à Zurich et à Viège, ainsi qu'à la mesure de la base topographique de Viège, avait été emporté en Suisse déjà en juillet 1905; il fut rapporté à Sèvres en septembre, soumis à quelques rapides mesures de contrôle qui permirent de s'assurer de sa permanence, puis rendu au constructeur pour une petite retouche d'une des réglottes; revenu au Bureau en janvier 1906, il fut immédiatement remis à l'étude. Enroulé sur un tambour, aussitôt après la mesure du 27 janvier, il fut envoyé à Zurich, porté de là à Brigue, puis à Viège, et employé pendant trois demi-journées et trois nuits sur la digue de la Viège et sur la voie ferrée, par des observateurs encore peu expérimentés. Rapporté à Sèvres après les mesures, il fut déterminé de nouveau.

Le tableau suivant, qui résume les mesures faites, montre que les traitements subis par ce fil ne l'ont que très peu modifié.

		Observateurs { Guillaume. Tarrade.	
Valeurs à 15° — 24 m.			
Dates.	Temp.	Fil n° 64. mm	Moy. mm
1906 10 janvier	9°,27	+ 0,65	+ 0,64
13 »	9 ,06	+ 0,61	
15 »	9 ,27	+ 0,65	
16 »	9 ,37	+ 0,69	
17 »	9 ,41	+ 0,61	
20 »	9 ,48	+ 0,58	
22 »	9 ,24	+ 0,58	+ 0,59
22 »	9 ,22	+ 0,57	
23 »	9 ,08	+ 0,61	
27 »	9 ,11	+ 0,59	
			+ 0,61
29 mars	8 ,31	+ 0,62	+ 0,65
30 »	8 ,28	+ 0,65	
31 »	8 ,24	+ 0,64	
2 avril	8 ,23	+ 0,71	
3 »	8 ,24	+ 0,65	
7 »	8 ,53	+ 0,68	
9 »	8 ,78	+ 0,64	
10 »	8 ,90	+ 0,65	
11 »	9 ,08	+ 0,69	+ 0,67
11 »	9 ,16	+ 0,67	
			+ 0,66

Fils n° 98 et 99. — Ces fils, d'une construction irréprochable, étaient destinés aux mesures proprement dites dans le tunnel. Soumis d'abord à une traction de 60 kg., prolongée pendant 24 heures, ils furent ensuite battus pour faire disparaître les tensions, puis soumis à une étude divisée en deux périodes. Enroulés librement le 10 mars 1906, et soigneusement emballés, ils furent emportés à Brigue, comparés sur le comparateur installé près du tunnel, enroulés sur le tambour qui avait servi au transport du fil n° 64, et emportés ainsi dans le tunnel.

Au cours des mesures, le fil n° 98 subit un accident qui modifia sa longueur. Rapporté à Sèvres sur son tambour, il fut mesuré en même temps que le n° 99; puis on rectifia sa courbure, on enleva quelques taches de rouille, et on détermina de nouveau son équation.

Le tableau ci-après contient l'ensemble des résultats fournis par ces études :

Dates.	Temp.	Observateurs } Guillaume. Tarrade.			
		Valeurs à 15° — 24 m.			
		Fil n° 98.	Moy.	Fil n° 99.	Moy.
		mm	mm	mm	mm
1905 18 sept.	15°,11	— 0,02	— 0,05	— 0,74	— 0,77
21 »	15 ,04	— 0,07		— 0,75	
23 »	14 ,95	— 0,09		— 0,76	
27 »	14 ,75	0,00		— 0,78	
30 »	14 ,60	— 0,06		— 0,82	
4 oct.	14 ,20	— 0,12		— 0,80	
7 »	13 ,91	— 0,10		— 0,78	
11 »	13 ,49	— 0,11		— 0,79	
14 »	13 ,26	— 0,10		— 0,82	
18 »	12 ,78	— 0,05		— 0,79	
21 »	12 ,24	— 0,06	— 0,78		
25 »	11 ,48	— 0,05	— 0,78		
28 »	11 ,10	— 0,03	— 0,04	— 0,80	— 0,79
4 nov.	11 ,05	— 0,02		— 0,78	
7 »	10 ,99	— 0,03		— 0,80	
			— 0,06		— 0,78
1906 31 janv.	9 ,56	— 0,04	— 0,04	— 0,79	— 0,77
31 »	9 ,58	— 0,01		— 0,76	
2 févr.	9 ,65	— 0,06		— 0,72	
3 »	9 ,65	— 0,04		— 0,79	
3 »	9 ,80	— 0,04		— 0,79	
7 »	9 ,78	— 0,03		— 0,75	
7 »	9 ,81	— 0,07		— 0,78	
17 »	9 ,66	— 0,04		— 0,76	
17 »	9 ,66	— 0,02		— 0,75	
20 »	9 ,89	— 0,03		— 0,69	
			— 0,04		— 0,76

Observateurs { Guillaume.
Tarrade.

Valeurs à 15° — 24 m.

Dates.	Temp.	Fil n° 98.	Moy.	Fil n° 99.	Moy.
		mm	mm	mm	mm
1906 20 février	9°,89	— 0,03	— 0,04	— 0,70	— 0,75
20 »	9,92	— 0,04		— 0,75	
21 »	9,94	— 0,02		— 0,70	
22 »	9,94	— 0,10		— 0,83	
24 »	9,94	— 0,03		— 0,79	
26 »	9,96	— 0,07		— 0,79	
1 mars	10,19	— 0,05	— 0,06	— 0,79	— 0,79
2 »	10,26	— 0,04		— 0,82	
3 »	10,42	— 0,10		— 0,79	
7 »	10,23	— 0,05		— 0,78	
8 »	10,19	— 0,07		— 0,77	
9 »	10,20	— 0,07	— 0,05	— 0,73	— 0,73
10 »	10,14	0,00		— 0,68	
10 »	10,15	— 0,05		— 0,73	
			— 0,05		— 0,76

(Mesure du Simplon, accident au fil n° 98)

1906 29 mars	8,31	— 0,19	— 0,20	— 0,77	— 0,74
30 »	8,28	— 0,24		— 0,70	
31 »	8,24	— 0,21		— 0,76	
2 avril	8,22	— 0,17		— 0,72	
3 »	8,23	— 0,19		— 0,76	
7 »	8,53	— 0,19		— 0,70	
9 »	8,78	— 0,15	— 0,17	— 0,71	— 0,73
10 »	8,90	— 0,19		— 0,71	
11 »	9,08	— 0,15		— 0,73	
11 »	9,16	— 0,16		— 0,80	
			— 0,18		— 0,74

(Après réparation du fil n° 98)

1906 14 avril	9,57	— 0,05	— 0,03	
12 mai	10,71	— 0,02		
19 »	11,18	— 0,08		
22 »	11,16	— 0,02		
23 »	11,14	+ 0,03	— 0,01	
26 »	11,45	— 0,08		
2 juin	12,73	— 0,01		
5 »	12,73	+ 0,04		
9 »	13,12	— 0,05		
11 »	13,25	+ 0,04		— 0,02

4. — Comparaison des fils entre eux.

Les comparaisons des fils entre eux se font sur une base ou comparateur, de longueur très peu différente de 24 mètres, établi contre le mur extérieur de l'observatoire du Bureau international des poids et mesures, et dont les repères sont disposés de la même façon que pour la mesure proprement dite des bases. Elles ont pour principal objet de vérifier les équations relatives des fils, résultant de la différence des équations absolues trouvées sur la base du sous-sol. Des divergences entre ces deux séries d'opérations permettraient de découvrir des défauts de construction ayant pour effet de modifier les équations des fils suivant l'orientation des réglettes; de plus, comme les variations de la température extérieure sont beaucoup plus considérables que celles de la température du sous-sol, ces comparaisons, faites en plein air, donnent le moyen de vérifier les coefficients de dilatation employés à la réduction des mesures; enfin, l'expérience acquise dans ces opérations a permis de fixer les conditions d'emploi des fils de contrôle auxquels sont comparés les fils d'usage avant et après la mesure des bases.

Dans les opérations de la Commission géodésique suisse, les fils Λ_{31} , Λ_{32} , Λ_{33} devaient servir uniquement au contrôle de la conservation des fils n^{os} 98 et 99 après le transport de Sèvres à Brigue, et après la mesure de la base. Les premiers étant d'une construction un peu moins parfaite que celle des fils principaux, ce contrôle ne pouvait être, il est vrai, que d'une précision inférieure à celle qu'eussent donnée des fils irréprochables. Mais les comparaisons auraient pu, cependant, faire apparaître des changements un peu considérables des fils principaux après la mesure du tunnel.

Les goujons portant les traits qui servent de repères dans notre base de contrôle sont montés sur des potences fixées contre le mur de l'observatoire du Bureau. Les repères sont enlevés après chaque mesure et remis en place pour la mesure suivante; on ne peut donc pas s'attendre à trouver, entre les valeurs successives de la base, à laquelle les fils sont comparés à des jours différents, une continuité parfaite. De plus, comme on peut craindre qu'il se produise, au cours d'une même mesure, dont la durée est de plusieurs heures, de petits déplacements continus des repères, les fils sont toujours comparés à la base deux fois, en suivant un ordre inverse. Chacun des nombres portés dans les tableaux est la moyenne des deux résultats partiels ainsi trouvés dans

une même série. Les résultats individuels sont eux-mêmes des moyennes de dix comparaisons avec échange des observateurs.

Pour vérifier la concordance des indications données par les divers fils, le plus simple est de rassembler, dans un tableau, les valeurs de la base extérieure à laquelle ils conduisent, sans encore tenir compte de leur équation; puis d'appliquer, aux moyennes des résultats, la valeur de ces équations, et de comparer les nombres ainsi obtenus.

Les comparaisons faites au Bureau se sont divisées en trois groupes. Dans le premier, les fils A_{31} , A_{32} , A_{33} , n° 98 et n° 99 ont été comparés entre eux et avec les deux fils n° 112 et 113 du Bureau. Le second groupe a compris les mêmes fils, après une retouche de la direction des réglettes pour les quatre derniers. Le troisième, postérieur à la mesure de la base du Simplon, a utilisé les cinq fils de la Commission et les quatre fils n° 114, 115, 116 et 117 du Bureau.

Les résultats des trois groupes de mesures sont résumés ci-après :

Observateurs } Guillaume.
Tarrade.

PREMIER GROUPE.

Fils — Base extérieure.

Dates.	Temp.	A_{31} mm	A_{32} mm	A_{33} mm	N° 98 mm	N° 99 mm	N° 112 mm	N° 113 mm
1906 21 février	5°,8	+ 1,48	+ 2,56	+ 1,30	+ 1,01	+ 0,31	+ 1,96	+ 1,64
23 »	4,4	+ 1,66	+ 2,62	+ 1,46	+ 1,01	+ 0,43	+ 2,04	+ 1,76
24 »	4,0	+ 1,59	+ 2,62	+ 1,43	+ 1,04	+ 0,39	+ 2,07	+ 1,71
28 »	5,0	+ 1,85	+ 2,95	+ 1,72	+ 1,35	+ 0,71	+ 2,34	+ 2,01
Moyennes		+ 1,65	+ 2,69	+ 1,48	+ 1,10	+ 0,46	+ 2,10	+ 1,78

DEUXIÈME GROUPE.

Fils — Base extérieure.

Dates.	Temp.	A_{31} mm	A_{32} mm	A_{33} mm	N° 98 mm	N° 99 mm	N° 112 mm	N° 113 mm
1906 6 mars	17°,1	+ 1,63	+ 2,61	+ 1,41	+ 1,08	+ 0,39	+ 2,13	+ 1,70
7 »	16,4	+ 1,57	+ 2,57	+ 1,41	+ 1,08	+ 0,37	+ 2,12	+ 1,71
8 »	15,9	+ 1,54	+ 2,54	+ 1,34	+ 1,01	+ 0,30	+ 2,04	+ 1,65
9 »	10,5	+ 1,49	+ 2,58	+ 1,38	+ 1,02	+ 0,32	+ 2,05	+ 1,64
10 »	7,5	+ 1,58	+ 2,60	+ 1,39	+ 1,06	+ 0,37	+ 2,05	+ 1,66
Moyennes		+ 1,56	+ 2,58	+ 1,39	+ 1,05	+ 0,35	+ 2,08	+ 1,67

TROISIÈME GROUPE.

Fils — Base extérieure.

Dates.	Temp.	A ₃₁ mm	A ₃₂ mm	A ₃₃ mm	N° 98 mm	N° 99 mm	N° 114 mm	N° 115 mm	N° 116 mm	N° 117 mm
1906 6 avril	13°,7	+ 1,47	+ 2,42	+ 1,28	+ 0,82	+ 0,29	+ 1,29	+ 0,97	+ 1,67	+ 1,76
7 »	16,0	+ 1,39	+ 2,37	+ 1,21	+ 0,82	+ 0,26	+ 1,29	+ 0,95	+ 1,64	+ 1,78
7 »	16,0	+ 1,42	+ 2,37	+ 1,24	+ 0,85	+ 0,24	+ 1,28	+ 0,96	+ 1,64	+ 1,77
10 »	19,5	+ 1,29	+ 2,23	+ 1,10	+ 0,74	+ 0,14	+ 1,14	+ 0,84	+ 1,50	+ 1,66
10 »	19,5	+ 1,26	+ 2,18	+ 1,10	+ 0,69	+ 0,13	+ 1,12	+ 0,83	+ 1,49	+ 1,66
24 »	10,8	+ 1,08	+ 2,06	+ 0,95	(+ 0,64) ¹	- 0,06	+ 0,96	+ 0,62	+ 1,32	+ 1,43
	5 séries	+ 1,37	+ 2,31	+ 1,19	+ 0,78	+ 0,21	+ 1,22	+ 0,99	+ 1,59	+ 1,73
	6 séries	+ 1,32	+ 2,27	+ 1,15		+ 0,17	+ 1,18	+ 0,86	+ 1,55	+ 1,68

Dans ce dernier tableau, les moyennes sont faites pour les cinq premières séries et pour les six séries, afin de permettre la comparaison du fil n° 98, réparé après la cinquième série.

Pour établir la concordance entre les valeurs moyennes de la base extérieure rapportées aux divers fils, il faut maintenant adopter, pour ces derniers, des équations déduites des mesures faites sur la base du sous-sol. Or on peut faire, au sujet de ces équations, pour les cinq fils de la Commission géodésique suisse, deux hypothèses présentant *a priori* un degré à peu près égal de probabilité: *A*. — Les écarts des valeurs des fils dans les deux séries de mesures sont apparents, et dus seulement aux erreurs des observations; on prend alors la moyenne de toutes les valeurs. *B*. — Les écarts sont réels, et correspondent à un changement des fils; on ne se sert que des valeurs absolues des fils trouvées à l'époque de leurs comparaisons entre eux.

Pour la période postérieure à la mesure, on ne considérera que les déterminations de la même époque (*C*).

Les équations admises pour les fils du Bureau sont celles qui résultent de comparaisons nombreuses s'étendant sur une longue période; nous pouvons les associer aux nombres calculés dans les deux hypothèses *A* et *B*, de même que pour la période *C*.

Les valeurs ainsi trouvées sur la base du sous-sol sont, d'après les tableaux des p. 102 à 107:

¹ Après réparation.

Fils.	A		B		C	
	Toutes les valeurs.		du 20 février au 10 mars.		du 29 mars au 11 avril.	
	mm		mm		mm	
Λ_{31}	24 m	+ 0,47	24 m	+ 0,40	24 m	+ 0,47
Λ_{32}		+ 1,48		+ 1,48		+ 1,42
Λ_{33}		+ 0,28		+ 0,26		+ 0,28
N° 98		- 0,05		- 0,05		- 0,18
N° 99		- 0,77		- 0,76		- 0,74
N° 112				+ 0,94		
N° 113				+ 0,57		
N° 114				+ 0,26		
N° 115				- 0,02		
N° 116				+ 0,70		
N° 117				+ 0,76		

On voit que les deux hypothèses A et B conduisent sensiblement aux mêmes résultats pour les fils n°s 98 et 99.

Retranchant les nombres ci-dessus des moyennes qui leur correspondent dans les tableaux des comparaisons avec la base extérieure, on trouve les valeurs ci-après de cette dernière à diverses époques d'après les différents fils; les nombres du tableau ne présentent, en valeur absolue, aucun intérêt; mais leur concordance dans chaque colonne est le critère global de l'exactitude des comparaisons et de la perfection de la construction des fils.

VALEURS MOYENNES DE LA BASE EXTÉRIEURE — 24 m.

Fils.	Premier groupe.				Deuxième groupe.				Troisième groupe.			
	21-28 février.				6-10 mars.				6-10 avril.		6-24 avril.	
	A	δ	B	δ	A	δ	B	δ	C	δ	C	δ
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Λ_{31}	- 1,18	+ 0,01	- 1,25	- 0,05	- 1,09	+ 0,02	- 1,16	- 0,04	- 0,90	+ 0,03	- 0,85	+ 0,03
Λ_{32}	- 1,21	- 0,02	- 1,21	- 0,01	- 1,10	+ 0,01	- 1,10	+ 0,02	- 0,89	+ 0,04	- 0,85	+ 0,03
Λ_{33}	- 1,20	- 0,01	- 1,22	- 0,02	- 1,11	0,00	- 1,13	- 0,01	- 0,91	+ 0,02	- 0,87	+ 0,01
N° 98	- 1,15	+ 0,04	- 1,15	+ 0,05	- 1,10	+ 0,01	- 1,10	+ 0,02	- 0,96	- 0,03		
N° 99	- 1,23	- 0,04	- 1,22	- 0,02	- 1,12	- 0,01	- 1,11	+ 0,01	- 0,95	- 0,02	- 0,91	- 0,03
N° 112	- 1,16	+ 0,03	- 1,16	+ 0,04	- 1,14	- 0,03	- 1,14	- 0,02				
N° 113	- 1,21	- 0,02	- 1,21	- 0,01	- 1,10	+ 0,01	- 1,10	+ 0,02				
N° 114	—	—	—	—	—	—	—	—	- 0,96	- 0,03	- 0,92	- 0,04
N° 115	—	—	—	—	—	—	—	—	- 0,93	0,00	- 0,88	0,00
N° 116	—	—	—	—	—	—	—	—	- 0,89	+ 0,04	- 0,85	+ 0,03
N° 117	—	—	—	—	—	—	—	—	- 0,97	- 0,04	- 0,92	- 0,04
Moy.	- 1,19	$\pm 0,02$	- 1,20	$\pm 0,03$	- 1,11	$\pm 0,01$	- 1,12	$\pm 0,02$	- 0,93	$\pm 0,03$	- 0,88	$\pm 0,05$

Les valeurs des écarts entre les nombres individuels et les moyennes du tableau ci-dessus montrent d'abord que les concordances se sont améliorées en passant du premier au deuxième groupe ; on pourrait attribuer ce fait à la rectification des réglettes ; cependant l'hypothèse A, consistant à prendre les moyennes de tous les nombres trouvés sur la base du sous-sol, antérieurement à la mesure de la base du Simplon, est celle qui donne les moindres écarts. La rectification peut donc n'avoir joué qu'un rôle secondaire, et on pensera plutôt que les conditions des premières mesures, faites par un temps froid et pluvieux, ont pu agir défavorablement sur leurs résultats.

D'ailleurs, quel que soit le mode de calcul employé, les écarts sont faibles, et pour la plupart inférieurs en moyenne au millionième de la longueur des fils. On pourrait donc dire que, au point de vue de la mesure des bases, et étant donné que les fils de contrôle ne servent que par leurs moyennes, les diverses hypothèses sont indifférentes.

Pour la période postérieure à la mesure, la moyenne des écarts dépasse très légèrement le millionième ; ces écarts restent individuellement les mêmes, à 0^{mm},01 près, si l'on rassemble dans la même moyenne soit les cinq mesures du 6 au 10 avril pour tous les fils, soit les six mesures du 6 au 24 avril, en exceptant seulement le fil n° 98.

Cette question de la concordance étant ainsi examinée à un point de vue général, il reste à rechercher les valeurs qui résulteraient, pour les fils n° 98 et 99, de la comparaison avec les divers groupes de fils de contrôle. Mais, pour n'avoir pas à y revenir, il convient d'examiner d'abord les résultats des comparaisons effectuées à Brigue.

Ces comparaisons ont été faites en trois groupes distincts. Les premières ont eu lieu le 14 mars 1906, immédiatement après l'arrivée des fils à Brigue et la vérification de tous les instruments ; elles ont compris les cinq fils principaux de la Commission géodésique. Les suivantes ont été faites entre les deux mesures de la base, et n'ont fait intervenir que les fils n° 98 et 99 ; elles ont eu surtout pour but d'établir la valeur de la variation subie par le premier de ces fils dans l'accident éprouvé au cours de la mesure. Les dernières enfin ont compris l'ensemble des fils.

Les premières comparaisons ont été faites le matin, par un temps clair ; les autres ont été exécutées le soir, à la lumière artificielle ; celles des fils n° 98 et 99, au retour d'Iselle ; les dernières, le jour de l'achèvement de la mesure du retour, dans une accalmie de la chute de neige qui avait interrompu les travaux après la sortie du tunnel. Ces dernières observations ont été rendues incertaines par les conditions médiocres dans lesquelles elles ont été exécutées.

On donnera, comme pour les comparaisons exécutées à Sèvres, la moyenne des mesures, faites dans l'ordre ascendant et descendant des fils.

Base — Fils à 15°.

Dates.	Temp. moy.	Observateurs.	A ₃₁ mm	A ₃₂ mm	A ₃₃ mm	N° 98 mm	N° 99 mm
1906 14 mars	4°,0	{ Guillaume }	— 10,53	— 11,68	— 10,49	— 10,08	— 9,39
		{ Maudet. }	— 10,53	— 11,61	— 10,47	— 10,04	— 9,41
20 mars	2,0	{ Niethammer }				— 10,02 ¹	— 9,46 ¹
23 mars	0,3	{ Knapp. }					
		{ Guillaume }	— 10,77	— 11,87	— 10,62	— 10,03	— 9,52
		{ Morel. }	— 10,81	— 11,84	— 10,63	— 10,05	— 9,55

Nous pouvons maintenant réunir, dans les deux tableaux qui suivent, les valeurs qui résultent, pour les fils n°s 98 et 99, des déterminations faites en partant des valeurs des fils de contrôle de la Commission, ou des fils du Bureau international. Le calcul a été fait en prenant les valeurs A, B et C des fils A₃₁, A₃₂, A₃₃. La première colonne des résultats contient les différences, déduites des tableaux des pages 109 et 110, des fils n°s 98 et 99 par rapport à la moyenne des fils A₃₁, A₃₂, A₃₃. Les colonnes suivantes indiquent les valeurs qui en résultent pour les fils n°s 98 et 99, en admettant, pour les fils de contrôle, les valeurs moyennes données plus haut, d'après le tableau de la page 111.

Valeurs du fil N° 98 à 15° d'après A₃₁, A₃₂, A₃₃.

Dates.	Temp.	N° 98 — Moy.	N° 98 — 24 m.		
			A : + 0mm,74 mm	B : + 0mm,71 mm	C : + 0mm,72 mm
1906 21 février	5°,8	— 0,77	— 0,03	— 0,06	
23 »	4,4	— 0,90	— 0,16	— 0,19	— 0,12
24 »	4,0	— 0,84	— 0,10	— 0,13	
28 »	5,0	— 0,82	— 0,08	— 0,11	
6 mars	17,1	— 0,80	— 0,06	— 0,09	— 0,08
7 »	16,4	— 0,77	— 0,03	— 0,06	
8 »	15,9	— 0,80	— 0,06	— 0,09	
9 »	10,5	— 0,80	— 0,06	— 0,09	
10 »	7,3	— 0,80	— 0,06	— 0,09	
14 »	4,0	— 0,83	— 0,09	— 0,12	mm — 0,11
23 »	0,2	— 1,05	— 0,31	— 0,34	— 0,33
6 avril	13,7	— 0,90			— 0,18
7 »	16,0	— 0,83			— 0,11
10 »	19,5	— 0,81			— 0,08

¹ Moyennes de 40 observations.

Valeurs du fil N° 98 à 15° d'après les fils,

[112-113] = + 0^{mm},75

[114-117] = + 0^{mm},42.

Dates.	Temp.	N° 98 — [112-113] mm	N° 98 — 24 m. mm	N° 98 — [114-117] mm	N° 98 — 24 m. mm
1906 21 février	5°,8	— 0,79	— 0,04		
23 »	4,4	— 0,89	— 0,14	— 0,09	
24 »	4,0	— 0,85	— 0,10		
28 »	5,0	— 0,83	— 0,08		
6 mars	17,1	— 0,83	— 0,08		
7 »	16,4	— 0,84	— 0,09	— 0,07	
8 »	15,9	— 0,83	— 0,08		
9 »	10,5	— 0,83	— 0,08		
10 »	7,5	— 0,79	— 0,04		
6 avril	13,7	après l'accident		— 0,60	— 0,18
7 »	16,0			— 0,59	— 0,17
7 »	16,0			— 0,56	— 0,14
10 »	19,5			— 0,55	— 0,13
10 »	19,5			— 0,59	— 0,17
24 avril	10,8	après rectification du fil		— 0,44	— 0,02

Valeurs du fil N° 99 à 15° d'après A₃₁, A₃₂, A₃₃.

N° 99 — 24 m.

Dates.	Temp.	N° 99 — Moy.	A : + 0 ^{mm} ,74	B : + 0 ^{mm} ,71	C : + 0 ^{mm} ,72
1906 21 février	5°,8	mm — 1,47	mm — 0,73	mm — 0,76	
23 »	4,4	— 1,48	— 0,74	— 0,77	— 0,76
24 »	4,0	— 1,49	— 0,75	— 0,78	
28 »	5,0	— 1,46	— 0,72	— 0,75	
6 mars	17,1	— 1,49	— 0,75	— 0,78	
7 »	16,4	— 1,48	— 0,74	— 0,77	— 0,78
8 »	15,9	— 1,51	— 0,77	— 0,80	
9 »	10,5	— 1,50	— 0,76	— 0,79	
10 »	7,5	— 1,49	— 0,75	— 0,78	
14 »	4,0	— 1,49	— 0,75	— 0,78	mm — 0,77
23 »	0,2	— 1,55	— 0,81	— 0,84	— 0,83
6 avril	13,7	— 1,43			— 0,71
7 »	16,0	— 1,42			— 0,70
10 »	19,5	— 1,39			— 0,66

Valeurs du fil N° 99 à 15° d'après les fils,

		[112-113] = + 0 ^{mm} ,75			[114-117] = + 0 ^{mm} ,42
Dates.	Temp.	N° 99 — [112-113]	N° 99 — 24 m.	N° 99 — [114-117]	N° 99 — 24 m.
		mm	mm	mm	
1906 21 février	5°,8	— 1,49	— 0,74		
23 »	4 ,4	— 1,47	— 0,72	} — 0,73	
24 »	4 ,0	— 1,50	— 0,75		
28 »	5 ,0	— 1,47	— 0,72		
6 mars	17 ,1	— 1,52	— 0,77		
7 »	16 ,4	— 1,55	— 0,80	} — 0,77	
8 »	15 ,9	— 1,54	— 0,79		
9 »	10 ,5	— 1,53	— 0,78		
10 »	7 ,5	— 1,48	— 0,73		
6 avril	13 ,7			mm	mm
7 »	16 ,0			— 1,13	— 0,71
7 »	16 ,0			— 1,15	— 0,73
10 »	19 ,5			— 1,17	— 0,75
10 »	19 ,5			— 1,15	— 0,73
24 »	10 ,8			— 1,15	— 0,73
				— 1,14	— 0,72

L'examen de ces tableaux montre tout d'abord que les valeurs des fils, réduites à 15° au moyen des coefficients de dilatation déterminés au comparateur, ne présentent aucune marche systématique avec la température.

On pourrait, il est vrai, en considérant quelques nombres isolés, conclure à une telle marche; ainsi, les comparaisons faites le 23 mars et le 10 avril, au minimum et au maximum de la température, présentent entre elles, pour le fil n° 98 notamment, un écart considérable. Mais les comparaisons du 23 mars ont été faites, ainsi qu'il a été dit, dans des conditions très difficiles. Si l'on compare, en revanche, celles du 6 et du 14 mars, pour le même fil, on trouve un écart de sens inverse, alors que, pour le fil n° 99, les résultats sont identiques. Le diagramme que l'on peut tracer en fonction de la température montre que rien n'autorise à suspecter les différences des coefficients admis pour les trois séries de fils.

Si l'on reprend les résultats à un autre point de vue, il semble que l'on puisse admettre, pour le fil n° 98, un petit changement, entre les deux premiers groupes de mesures, changement dû à la rectification des réglettes. Mais les comparaisons du premier groupe avec les fils A₃₁, A₃₂, A₃₃ ont conduit à des résultats peu concordants; et, d'ailleurs, les moyennes trouvées par rapport aux fils du Bureau diffèrent de moins d'un millionième. Je reviendrai sur les valeurs trouvées après l'accident subi par le fil n° 98.

Pour le fil n° 99, on ne trouve aucun écart sensible entre les deux premiers groupes ; de plus, les valeurs fournies par les fils A et par ceux du Bureau international diffèrent très peu entre elles.

5. — Conclusion de l'étude des fils.

Fils de 24 mètres.

Fil n° 64. — Les déterminations directes du fil n° 64 employé dans la mesure de la base de Viège ont donné les valeurs suivantes :

Avant les opérations :	24 ^m ,00061 ₆
Après les opérations :	<u>24 ,00066</u>
Moyenne :	24 ^m ,00064

On pourrait hésiter, au sujet de l'équation à adopter pour la réduction de la base de Viège, entre la dernière valeur trouvée et la moyenne des valeurs obtenues avant et après les opérations sur le terrain, puisque le fil a été employé d'abord pour une période d'instruction. Peut-être conviendrait-il de prendre le nombre moyen résultant des deux hypothèses, savoir 24^m,00065. Mais, au point de vue pratique, ces deux hypothèses sont indifférentes, puisque l'écart qui en résulte est inférieur au demi-millionième, alors que, sur la base de Viège, on ne cherchait pas à atteindre une exactitude supérieure au deux-cent-millième.

Pour le calcul de la courte longueur mesurée à Brigue, entre l'observatoire et le signal, il vaut mieux prendre la dernière valeur 24^m,00066 ; ici encore, étant donné qu'il s'agit d'une seule portée, les hypothèses sont indifférentes.

Fils nos 98 et 99. — Les tableaux suivants résument l'ensemble des mesures.

Déterminations directes.

				N° 98.	N° 99.
Avant les opérations	du	18 septembre	au	7 novembre 1905	23 ^m ,99994
	»	31 janvier	»	20 février 1906	23 ,99996
	»	20 février	»	10 mars	23 ,99995
Après les opérations	»	29 mars	»	11 avril	23 ,99982
	»	14 avril	»	11 juin	23 ,99998
					23 ^m ,99922
					23 ,99924
					23 ,99924
					23 ,99926

Déterminations indirectes.

1° Par les fils A_{31} , A_{32} , A_{33}
(Hypothèses A, B, C).

			N° 98	N° 99
Avant les opérations	21-28 février 1906	A	23 ^m ,99991	23 ^m ,99927
		B	23 ,99988	23 ,99924
	6-10 mars 1906	A	23 ,99995	23 ,99925
		B	23 ,99992	23 ,99922
	14 mars 1906	A	23 ,99991	23 ,99925
		B	23 ,99988	23 ,99922
Après les opérations	6-10 avril 1906	C	23 ,99988	23 ,99931

2° Par les fils 112 à 117.

Avant les opérations	21-28 février		23 ^m ,99991	23 ^m ,99927
		6-10 mars (112-113)	23 ,99993	23 ,99923
Après les opérations	6-10 (24) avril (114-117)		23 ,99984	23 ,99927

Enfin, après l'accident du fil n° 98 : $(98)-(99) = + 0^{\text{mm}},56$ (comparaison directe).

La mesure du 23 mars n'est pas reproduite ici, pour les raisons données plus haut.

Les *déterminations directes* montrent que les fils ne se sont pas sensiblement modifiés avant les opérations. Les nombres relatifs au fil n° 99 révèlent, il est vrai, du commencement à la fin, un faible écart ; mais il est inférieur au millionième, et rentre dans les limites normales des changements lents de l'invar. En tenant compte de cette circonstance, il est naturel de donner la préférence aux observations faites en 1906 qui conduisent à adopter les nombres :

$$\text{Fil N° 98 à } 15^\circ = 23^{\text{m}},99995.$$

$$\text{Fil N° 99 à } 15^\circ = 23 ,99924$$

Les mesures directes faites après les opérations sur le terrain ont montré que l'accident subi par le fil n° 98 l'a raccourci de $0^{\text{mm}},13$. Ces mêmes mesures donnent, pour le fil n° 99, un allongement de $0^{\text{mm}},02$, portant sa valeur à

$$\text{Fil N° 99 à } 15^\circ = 23^{\text{m}},99926.$$

Les *déterminations indirectes* par les fils avant l'opération sur le terrain donnent, pour le fil n° 98, des valeurs comprises entre $23^{\text{m}},99988$ et $23^{\text{m}},99995$; pour le fil n° 99, entre $23^{\text{m}},99922$ et $23^{\text{m}},99925$. Ces valeurs comprennent entre elles le nombre trouvé

directement pour le dernier fil, et admettent, pour le premier, la possibilité du résultat trouvé sur la base du sous-sol.

Les fils 112 et 113 donnent pour le n° 98 une moyenne égale à $23^m,99992$, tandis que, pour le fil n° 99, ils encadrent encore le nombre direct.

Les résultats indirects déduits des fils A, postérieurement à la mesure, conduisent pour les deux fils à des résultats un peu plus élevés que les nombres directs; au contraire, les fils 112 à 117 fournissent des résultats qui n'en diffèrent que d'une quantité insignifiante.

Enfin, la différence sur la base du sous-sol trouvée entre les deux fils avant l'opération ($0^{\text{mm}},71$) est un peu supérieure à la moyenne des différences observées sur la base extérieure, tandis que, après les opérations sur le terrain et l'accident du fil n° 98, la différence des équations dans le sous-sol se retrouve identiquement, ou à $0^{\text{mm}},01$ près, dans les résultats des comparaisons à Brigue ou sur la base extérieure du Bureau.

Cette dernière constatation est intéressante, parce que, après les comparaisons faites à Brigue le 20 mars 1906, le fil n° 98 n'a plus été employé, tandis que le fil n° 99 a mesuré encore les 828 portées de l'opération du retour dans le tunnel, et a servi à faire la jonction très pénible entre l'entrée du tunnel et l'observatoire de Brigue.

Il résulte du rapprochement de ces nombres que *le fil n° 99 n'a subi aucun changement appréciable* dans l'ensemble de ces difficiles opérations.

Pour les valeurs qu'il convient d'admettre définitivement, on voit immédiatement qu'il n'y a aucune raison de modifier la valeur du fil n° 99 en tenant compte des opérations sur la base extérieure. Pour le fil n° 98, on pourrait être tenté de faire subir une très petite correction à la valeur directe; mais il y aurait, dans cette modification, une large part d'arbitraire. Les plus gros écarts se rencontrent dans les comparaisons avec les fils A_{31} , A_{32} et A_{33} , et nous savons que ces fils sont inférieurs, comme construction, aux fils employés sur le terrain. Leur contrôle est, en quelque mesure, assimilable à celui d'un chronomètre de marine par une bonne montre de poche, contrôle précieux si l'on peut soupçonner un dérangement du premier, mais illusoire si celui-ci fonctionne normalement. Les écarts par rapport aux fils 112 à 117 sont de même sens mais beaucoup moindres. Les différences sur lesquelles porte la discussion, au moins pour les fils de bonne construction, sont de l'ordre de $0^{\text{mm}},01$, ou au plus de $0^{\text{mm}},02$. Les observations étant faites à la loupe sur une échelle millimétrique, ces quantités ne commencent à prendre une certaine réalité que lorsque les observations sont en nombre immense; et c'est alors seulement que l'élimination réciproque, par l'accumulation des résultats, des erreurs de lecture de l'ordre de $0^{\text{mm}},1$, les réduisent à une petite fraction de l'erreur individuelle moyenne.

Pour le résultat pratique de la mesure d'une base, la discussion, poussée jusqu'à cette limite, est heureusement oiseuse. Pour le fil n° 99, les diverses hypothèses plau-

sibles que l'on pourrait faire ne modifieraient le résultat que d'une quantité inférieure au demi-millionième, et pour le fil n° 98, du millionième au maximum, quantité très inférieure à l'incertitude des meilleurs angles.

En résumé, les valeurs qui paraissent les plus probables pour les deux fils employés à la mesure de la base sont :

$$\begin{aligned} \text{Fil n° 98 à } 15^\circ &= 23^m,99995, \\ \text{» » 99 »} &= 23^m,99925 \end{aligned}$$

Fil de 8 mètres n° 83.

Ce fil a été comparé, le 18 novembre 1905, et les 14 et 17 avril 1906, aux trois intervalles [0-8], [8-16], et [16-24], de la base du sous-sol. Les premières déterminations ont été faites à $10^\circ,20$, les dernières à une température moyenne de $9^\circ,80$. Les résultats des deux groupes de comparaisons sont les suivants :

Dates.	Fil N° 83 à 15°
18 novembre 1905	8 ^m ,00004
14-17 avril 1906	8 ,00002
Moyenne	8 ,00003

Fil de 72 mètres n° 100.

Pour déterminer les fils de grandes dimensions, il a été constitué, au Bureau international, une base de 72 mètres, divisée en trois sections de 24 mètres, dont les termes sont marqués par des repères semblables à ceux dont on se sert dans la mesure proprement dite des bases. Ces repères sont portés sur des potences en fonte, fixées à des fers à double T scellés dans des massifs en béton. Les quatre repères sont aussi parfaitement alignés que possible, et sont dans le même plan horizontal, avec une approximation de 1 ou 2 millimètres.

Les déterminations du fil n° 100 ont donné lieu, dans chaque série de comparaisons, aux opérations suivantes :

1° Comparaison du fil avec la base ; dix lectures des réglettes marchant dans le sens ascendant, puis dix lectures en sens inverse ; échange des observateurs et répétition de la même opération.

2° Mesure de la base par un fil de 24 mètres ; dans chaque section, dix lectures et échange des observateurs.

3° Répétition de la première mesure.

4° Répétition de la seconde mesure, en commençant à l'autre bout de la base.

5° Enfin, répétition de la première mesure.

Une comparaison constitue ainsi, un ensemble symétrique, comprenant 480 lectures.

Sous la charge de 10 kg., la flèche d'un fil de 72 mètres étant assez considérable pour l'amener en contact avec le sol, nous avons mesuré le fil sous une charge de 20 kg.

L'inconvénient d'une forte charge est d'augmenter les frottements. Mais, comme les erreurs qui en résultent varient approximativement suivant la troisième puissance de la flèche, les erreurs sont moindres, pour le fil de 72 mètres sous 20 kg. qu'elles ne seraient sous la charge normale des fils courts. Mais, même dans ces conditions, les lectures, sur le fil de 72 mètres, sont beaucoup moins certaines que sur les fils de 24 mètres. Les charges plus fortes à mouvoir, les frottements plus considérables, les variations de la flèche qui se produisent dès qu'on tire sur le fil, et qui le ramènent ensuite en arrière produisent des erreurs qui atteignent facilement quelques dixièmes de millimètre, et qu'on n'élimine que par un grand nombre de mesures succédant à des déplacements de sens contraire. De plus, ces observations, lorsqu'elles se prolongent, deviennent très fatigantes, par la nécessité, pour les observateurs, de se communiquer à une grande distance les indications des lectures à faire, ou d'annoncer de façon intelligible au secrétaire les observations faites.

Les tableaux suivants résument l'ensemble de nos comparaisons.

Dates. Temp. moy.	Fil N° 100 à 15° — Base		Base d'après le fil étalon.			Fil N° 100 à 15°	
	mm	mm	m	mm	mm	m	mm
1905 7 novembre	+ 1,20	} + 1,41	72 + 0,08	} + 0,10	} + 0,10	72 + 1,51	
10°,4	+ 1,59		+ 0,12				
	+ 1,44						
7 novembre	+ 0,75	} + 0,84	+ 0,67	} + 0,66	} + 0,66	+ 1,50	
10°,2	+ 0,92		+ 0,65				
	+ 0,85						
8 novembre	+ 0,86	} + 0,88	+ 0,67	} + 0,62	} + 0,62	+ 1,50	
6°,9	+ 0,89		+ 0,57				
	+ 0,90						
9 novembre	+ 0,84	} + 0,89	+ 0,72	} + 0,77	} + 0,77	+ 1,66	
7°,9	+ 0,98		+ 0,83				
	+ 0,86						
9 novembre	+ 0,95	} + 0,91	+ 0,72	} + 0,75	} + 0,75	+ 1,66	
8°,8	+ 0,82		+ 0,78				
	+ 0,96						
							<u>+ 1,57</u>

Observateurs. } Guillaume.
Tarrade.

(Mesure de la base du Simplon).

	mm	mm	mm	mm	mm
1906 18 mai	- 2,32	} - 2,29	+ 3,41	} + 3,33	} + 1,04
10°,7	- 2,24		+ 3,26		
	- 2,32				
19 mai	- 2,26	} - 2,28	+ 3,22	} + 3,20	} + 0,92
13°,6	- 2,30		+ 3,19		
	- 2,27				
22 mai	- 2,25	} - 2,31	+ 3,27	} + 3,26	} + 0,95
13°,9	- 2,35		+ 3,26		
	- 2,32				
23 mai (matin)	- 2,26	} - 2,32	+ 3,28	} + 3,27	} + 0,95
17°8	- 2,33		+ 3,26		
	- 2,38				
23 mai (soir)	- 2,47	} - 2,41	+ 3,41	} + 3,41	} + 1,00
19°,1	- 2,40		+ 3,40		
	- 2,37				
					+ 0,97

Ces comparaisons ayant révélé une variation notable de la longueur du fil n° 100, j'ai été conduit à me demander si une partie au moins de la différence trouvée ne provenait pas du mode d'observation employé dans les deux groupes de mesures. Les déterminations de novembre 1905 avaient été exécutées, en effet, sur des repères circulaires munis de deux traits en croix, tandis que les nouvelles comparaisons ont été faites à l'aide de repères à pan coupé, semblables à ceux qui ont été employés dans les mesures sur le terrain. Or l'inclinaison des réglettes, pour le fil de 72 mètres, étant notable, on pouvait raisonnablement supposer que l'appréciation des coïncidences sur les deux genres de repères était un peu influencée par cette inclinaison.

Des observations de contrôle, faites du 28 mai au 1^{er} juin, dans des conditions de température semblables pour les deux espèces de repères, ont donné les résultats ci-après :

	Repères circulaires.					Observateurs. { Guillaume. Tarrade.
	mm	mm	mm	mm	mm	
1906 28 mai	- 2,33	} - 2,41	+ 3,32	} + 3,33	} + 0,92	
23°,9	- 2,45		+ 3,33			
	- 2,44					
1 juin	- 2,59	} - 2,51	+ 3,29	} + 3,32	} + 0,81	
13°,1	- 2,44		+ 3,36			
	- 2,49					
					+ 0,86	

Repères à pan coupé.

	mm	mm	mm	mm	mm
1906 29 mai	- 2,68	} - 2,61	+ 3,41	} + 3,44	+ 0,83
23°,5	- 2,48		+ 3,46		
	- 2,66				
1 juin	- 2,44	} - 2,50	+ 3,42	} + 3,44	+ 0,94
13°,2	- 2,48		+ 3,46		
	- 2,57				
					Moy. + 0,88

Moyenne générale pour les repères à pans coupés + 0,94

Les résultats sont donc pratiquement les mêmes avec les repères des deux espèces ; mais on voit que, malgré toutes les précautions prises, la détermination de la valeur du fil de 72 mètres comporte une incertitude beaucoup plus considérable que pour les fils courts.

Néanmoins, il est absolument certain que le fil s'est raccourci entre les deux séries de mesures faites à Sèvres. Ce raccourcissement peut être attribué aux secousses des voyages et aux chocs reçus dans les diverses opérations subies. La grande longueur du fil n'avait pas permis, en effet, de le soumettre aux battages que subissent sans exception les fils courts.

On peut hésiter sur la valeur à attribuer au fil pour le calcul de la base. Le plus simple serait, assurément, de considérer la cause de la variation comme tout à fait inconnue, et de prendre la moyenne des résultats des deux groupes. Mais, si l'on considère que les observations du second groupe ont été faites dans de meilleures conditions que celles du premier, par des opérateurs ayant déjà une plus grande pratique du maniement du fil, que l'intervalle de temps postérieur à la mesure de la base a été plus court, enfin que les premières trépidations ont eu certainement plus d'effet que les suivantes, on reconnaîtra qu'il y a avantage à donner un poids plus fort aux dernières observations. En choisissant un peu arbitrairement les poids 1 et 2, on arrive, pour la longueur du fil n° 100 à 15°, à la valeur

$$\text{Fil n° 100 à 15° sous 20 kg.} = 72^m + 1^{mm},15.$$

Ce fil ayant servi à une seule mesure, l'incertitude de ce résultat, certainement inférieure à 0^{mm},2, est sans importance.

Ruban de 4 mètres n° 4.

Ce ruban, en invar, est divisé en décimètres sur une longueur de 4 mètres. Les décimètres extrêmes sont subdivisés en millimètres et prolongés d'un centimètre à l'extérieur.

Il a été comparé, en mars 1905, aux deux intervalles [0-4] et [20-24] de la base murale du Bureau. Puis un léger accident, survenu pendant la mesure de la base de Viège, ayant rendu une vérification désirable, il a été déterminé à Brigue, après les opérations de Viège, en fonction du fil de 8 mètres. Enfin, au retour à Sèvres, il a été comparé aux six intervalles de la base murale, l'organisation de l'éclairage de cette base permettant aujourd'hui de faire dans de bonnes conditions cette opération, qui était très difficile autrefois.

La dilatation du ruban étant inconnue, les valeurs reproduites dans les tableaux ci-après n'ont subi aucune réduction. On peut admettre, d'après des déterminations faites au National Laboratory à Teddington, sur des rubans de même provenance, que cette dilatation est voisine de 0^u,5 par degré et par mètre, ce qui permettra de faire des réductions approximatives.

Observateurs. } Guillaume.
Tarrade.

Comparaisons sur la base.

Dates.	Temp.	Intervalle.	Ruban à t° mm	
1906 15 mars	11°,0	[0-4]	4 m — 0, 67	
		[20-24]	— 0, 71	
			<u>Moy. 0, 69</u>	
12 mai	11,4	[0-4]	4 m — 0, 80	
		[4-8]	— 0, 78	
		[8-12]	— 0, 80	
		[12-16]	— 0, 91	
		11,2	[16-20]	— 0, 89
			[20-24]	— 0, 89
			<u>— 0, 85</u>	

Observateurs. } Guillaume.
Maudet.

Comparaisons à Brigue.

17 mars 1906. $2 \times \text{Ruban} = \text{Fil de } 8^m - 1^{mm},63.$

La valeur du fil étant égale à $8^m + 0^{mm},03$ à 15° , on trouve, en supposant les comparaisons faites à la même température :

$$\text{Ruban} = 4^m - 0^{mm},80.$$

Cette comparaison doit être considérée comme un simple contrôle. On admettra, pour les réductions, la valeur trouvée à Sèvres en mai 1906, soit $4^m - 0^{mm},85$, au voisinage de 11° .

Bureau international des poids et mesures

Pavillon de Breteuil, Sèvres, le 12 juin 1906.

CH.-ÉD. GUILLAUME.

ADRESSES

DES MEMBRES DE LA COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE

Président : M. le Colonel J.-J. LOCHMANN, Lausanne.

Secrétaire : M. le Professeur Raoul GAUTIER, Directeur de l'Observatoire de Genève.

Trésorier : M. le Professeur Max ROSENMUND, Bahnhofstrasse 53, Zurich I.

M. le Professeur Albert RIGGENBACH-BURCKHARDT, Bernoullistrasse 20, Bâle.

M. le Professeur A. WOLFER, Directeur de l'Observatoire de Zurich.

Pour la *correspondance officielle*, adresser au Président ou au Secrétaire.

Pour les envois de *Publications*, adresser :

Commission géodésique suisse : p. adr. Service topographique fédéral, Berne.

ou

Schweizerische geodätische Kommission ; Adr. Abteilung für Landestopographie, Bern.

Publications antérieures de la Commission géodésique suisse, en commission chez **Fäsi & Beer**, à Zurich :

Wolf, Dr. Rud., Geschichte der Vermessungen in der Schweiz, als historische Einleitung zu den Arbeiten der schweiz. geodätischen Kommission bearbeitet. Mit einem Titelbilde. Zürich 1879 in 4°. Fr. 10.

Das schweizerische Dreiecknetz, herausgegeben von der schweiz. geodätischen Kommission :

I. Band. Die Winkelmessungen und Stationsausgleichungen. Zürich 1881 in 4°. Fr. 10.

II. Band. Die Netzausgleichung und die Anschlussnetze der Sternwarten und astronomischen Punkte. Zürich 1884 in 4°. Fr. 10.

III^m Volume. La mensuration des bases. Lausanne 1888 in 4°. Fr. 10.

IV. Band. Die Anschlussnetze der Grundlinien. Zürich 1889 in 4°. Fr. 10.

V. Band. Astronomische Beobachtungen im Tessiner Basisnetze, auf Gäbris und Simplon; definitive Dreiecksseitenlängen; geographische Koordinaten. Mit einer Karte. Zürich 1890 in 4°. Fr. 10.

VI. Band. Lotabweichungen in der Westschweiz, bearbeitet von Dr. J. B. Messerschmitt. Mit einer Tafel. Zürich 1894 in 4°. Fr. 10.

VII. Band. Relative Schwerebestimmungen. I. Teil, bearbeitet von Dr. J. B. Messerschmitt. Mit drei Tafeln. Zürich 1897 in 4°. Fr. 10.

VIII. Band. Lotabweichungen in der mittleren und nördlichen Schweiz, bearbeitet von Dr. J. B. Messerschmitt. Mit einer Tafel. Zürich 1898 in 4°. Fr. 10.

IX. Band. Polhöhen und Azimutmessungen. Das Geoid der Schweiz. Bearbeitet von Dr. J. B. Messerschmitt. Mit vier Tafeln. Zürich 1901 in 4°. Fr. 10.

X. Band. Relative Lotabweichungen gegen Bern und telephonische Uhrvergleiche am Simplon. Mit zwei Karten und zwei Tafeln. Zürich 1907 in 4°. Fr. 15.

Messerschmitt, Dr. J. B., Definitive Seitenlängen und geographische Koordinaten der Punkte des schweiz. Dreiecknetzes und der Anschlussnetze. Mit einer Karte. Separatdruck aus Band V. Zürich 1890 in 4°. Fr. 2.

Nivellement de précision de la Suisse. Livraisons I—IX. 1867—1891 in 4°. La Livraison Fr. 3.

Catalogue des Hauteurs suisses. Second volume (X^e Livr.) de « Nivellement de précision de la Suisse ». 1891 in 4°. Fr. 3.

Bericht der Abteilung für Landestopographie an die schweiz. geodätische Kommission über die Arbeiten am Präzisionsnivellement der Schweiz in den Jahren 1893—1903. Bearbeitet von Dr. J. HILFIKER. Mit einer Uebersichtskarte. Zürich 1905 in 4°. Fr. 2.50.