NIVELLEMENT DE PRÉCISION

DE

LA SUISSE

EXÉCUTÉ

PAR LA COMMISSION GÉODÉSIQUE FÉDÉRALE

SOUS LA DIRECTION DE

A. HIRSCH ET E. PLANTAMOUR

PREMIÈRE LIVRAISON

GENÈVE ET BALE
H. GEORG, LIBRAIRE-ÉDITEUR, 10, CORRATERIE

1867

4

NIVELLEMENT DE PRÉCISION

DE

LA SUISSE

GENÈVE. — IMPRIMERIE RAMBOZ ET SCHUCHARDT.

NIVELLEMENT DE PRÉCISION

DE

LA SUISSE

EXÉCUTÉ

PAR LA COMMISSION GÉODÉSIQUE FÉDÉRALE

SOUS LA DIRECTION DE

A. HIRSCH ET E. PLANTAMOUR

PREMIÈRE LIVRAISON

GENÈVE ET BALE

H. GEORG, LIBRAIRE-ÉDITEUR, 10, CORRATERIE

1867

NIVELLEMENT DE PRÉCISION

DE

LA SUISSE

§ I.

Introduction.

Le nivellement de précision de la Suisse, dont nous publions aujourd'hui la première partie, doit son origine à la question des altitudes absolues de notre pays, soulevée vers la fin de l'année 1863 par M. le colonel Burnier, de Morges, à l'occasion d'une communication de M. l'ingénieur Michel, de Montpellier, sur le résultat du nivellement français, d'après lequel la cote de la Pierre du Niton à Genève, et par conséquent toutes les hauteurs suisses, devraient être abaissées de $2^m,59$. Antérieurement déjà, les nivellements exécutés par les différents chemins de fer qui convergent à Bâle avaient donné un résultat analogue, savoir un abaissement de $2^m,11$ de la cote fédérale du point zéro de l'échelle du Rhin à Bâle. On sait, du reste, que l'altitude fondamentale du Chasseral, qui a servi de point de départ pour toutes les hauteurs trigonométriques mesurées par l'état-major fédéral, avait été, par suite d'une méprise d'Eschmann, cotée trop haut de $0^m,97$, erreur qui affectait nécessairement toutes les hauteurs suisses. Enfin, les nombreux nivellements qui ont été exécutés dans notre pays dans le cours des vingt dernières années, à l'occasion de la construction des chemins de fer, avaient fourni une masse considérable de données nouvelles. Il était donc temps de reviser

tout notre réseau hypsométrique, de faire concorder ses différentes parties entre elles et de le relier d'une manière satisfaisante aux réseaux des pays voisins, et par suite aux différentes mers. C'est ainsi que, sur un rapport de M. le professeur Ch. Dufour, de Morges, président de la Commission fédérale d'hydrométrie, le Département fédéral de l'intérieur renvoya la question à la Commission géodésique, après avoir pris l'avis de M. le général Dufour, de M. l'ingénieur Denzler et de M. le professeur Mousson. Cette dernière Commission discuta en détail, dans sa séance du 24 avril 1864 tenue à l'observatoire de Neuchâtel, le rapport présenté sur cette question par M. Hirsch, et en adopta les conclusions suivantes, qu'elle soumit à l'approbation du Département fédéral de l'intérieur :

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

« 2) Le moment n'étant pas encore venu, où l'on pourra corriger avec « sûreté les altitudes suisses, et le choix de la mer, dont le niveau « moyen servira de plan général de comparaison, devant, dans l'intérêt « de la science, être réservé à une Commission géodésique internationale, « la question des hauteurs absolues reste suspendue pour le moment.

« 3) La Confédération fait rassembler, comparer et vérifier tous les « nivellements qui ont été exécutés pour les chemins de fer suisses.

« 4) La Confédération fera exécuter un nivellement de précision entre « Genève, Bâle, Lucerne et Romanshorn. Le long de ces lignes de nivel- « lement, on établira des points de repère pareils à celui de la Pierre « du Niton; le repère de Bâle sera rattaché par nivellement à un repère « du réseau français et au nivellement badois; celui du lac de Constance, « aux réseaux des États limitrophes; enfin, à partir de Lucerne, le nivel- « lement sera continué, aussitôt que faire se pourra, jusqu'au canton « du Tessin, où il sera rattaché au réseau italien. On comparera par- « tout, le long de la ligne de nivellement, les anciennes hauteurs trigo- « nométriques aux nouvelles cotes du nivellement; enfin, on reliera tri-

« gonométriquement et par nivellement le Chasseral à une des stations « du réseau suisse, ainsi qu'à une des stations de frontière faisant partie « du réseau français. »

La Commission chargea en même temps M. Hirsch de proposer des mesures analogues à la conférence géodésique internationale, qui eut lieu à Berlin au mois de septembre 1864, afin d'obtenir dans toute l'Europe centrale un vaste réseau de nivellement de précision, reliant entre elles les différentes mers. La conférence prit, à la suite de cette proposition, la résolution suivante :

« Il est à désirer que, dans les pays qui prennent part à l'entreprise « géodésique internationale, on exécute — à côté des déterminations « trigonométriques de hauteurs — des nivellements de premier ordre, « en employant la méthode du nivellement depuis le milieu, et en mé- « nageant le contrôle nécessaire par la combinaison polygonale des sta- « tions. On suivra de préférence, pour ces opérations, des lignes de « chemins de fer, des canaux, des routes, etc. — Dans chaque pays, les « hauteurs seront rapportées à un seul point zéro solidement établi. Tous « ces points de départ seront reliés entre eux par un nivellement de pré- « cision. — Le niveau moyen des différentes mers doit être déterminé « dans le plus grand nombre possible de ports, et de préférence au « moyen d'appareils enregistreurs. Les points zéro des échelles de port « doivent être compris dans le nivellement de premier ordre. — D'a- « près les résultats de toutes ces mesures, on choisira plus tard le plan « général de comparaison pour toutes les hauteurs de l'Europe. »

De cette façon, et sur l'initiative de la Suisse, l'exécution de nivellements de précision fut ainsi décidée pour la plupart des pays de l'Europe; aussi, dès qu'elle eut obtenu des autorités fédérales les fonds nécessaires pour l'exécution du réseau suisse, la Commission géodésique se mit à l'œuvre, et commanda, au printemps de 1865, à M. Kern, d'Aarau, un appareil de nivellement de précision, qui fut livré au commencement de juin. Après avoir étudié l'instrument, dont nous donnerons la description dans le chapitre suivant, M. Hirsch soumit à la Commission, dans sa

séance du 18 juin 1865, un rapport détaillé sur les appareils, sur la méthode d'opération et de calcul, et sur le plan de campagne de 1865. En adoptant les conclusions de ce rapport, la Commission décida de commander à M. Kern, d'Aarau, un second instrument de nivellement, pareil au premier, sauf de petites modifications indiquées dans le rapport. Elle chargea deux de ses membres, MM. Plantamour et Hirsch, de la direction spéciale des travaux de nivellement et de leur réduction; elle nomma deux ingénieurs, M. *Benz*, de Schwammendingen, et M. *Schönholzer,* de Horgen, qui devaient exécuter les opérations sous la direction immédiate des deux membres de la Commission et suivant un règlement spécial fixé par celle-ci. Comme objet des travaux de 1865, la Commission désigna le nivellement du Chasseral, son raccordement au réseau français à Morteau et le nivellement de Genève à Neuchâtel. Dans les points principaux de ces lignes, on devait placer des repères fondamentaux en bronze. Enfin, la Commission décida de demander aux chemins de fer de la Suisse occidentale le tableau des repères de leurs nivellements, au bureau topographique fédéral le tableau des points hypsométriques des cantons de Neuchâtel, Vaud et Genève, et à la Commission hydrométrique le tableau des limnimètres et échelles, dont elle désirerait voir déterminer l'altitude.

Le 9 juillet, nous commençâmes les travaux au Chaumont, au-dessus de Neuchâtel, où nous reliâmes d'abord entre eux le signal, la station météorologique et l'hôtel, au moyen d'un petit polygone, et d'où, en suivant toujours la crête de la montagne, nous nivelâmes vers le Chasseral, d'abord jusqu'à la métairie Ladame, où l'ingénieur M. Benz nous joignit le 20 juillet. Vu les difficultés spéciales qu'offrait le nivellement sur la crête du Jura, et en raison de sa grande importance, puisqu'il devait fixer l'altitude du point de départ de toutes les anciennes hauteurs suisses; enfin, pour former les ingénieurs, nous restâmes pour exécuter nous-mêmes le nivellement du Chasseral. A partir de Chuffort, situé au pied même du massif du Chasseral, l'opération devint très-pénible, à cause des fortes pentes qui nous obligeaient de rapprocher la mire

quelquefois jusqu'à 5 mètres, à cause des forêts épaisses qu'il fallait traverser, et du gazon mou et élastique sur lequel il fallait monter en zigzag. Malgré ces grandes difficultés, et quoique sur la crête du Chasseral nous fussions gênés souvent par le mauvais temps, et surtout par la violence du vent, nous avons pu déterminer la hauteur du Chasseral à deux centimètres près, comme le nivellement de retour à Chuffort l'a prouvé.

Le 28 juillet, M. Schönholzer est venu nous rejoindre au Chasseral, et comme son instrument n'était pas encore terminé, nous l'avons adjoint d'abord à M. Benz, pour qu'à partir du 1er août ils continuassent le nivellement de Chuffort à Pâquier, et de là par le Val de Ruz pour revenir par Valengin et Pierrabôt au Chaumont, et fermer ainsi le polygone. Car, comme nous allons le voir dans l'explication de la méthode, la Commission avait décidé que toutes les lignes de nivellement devaient ou bien former des polygones, ou bien être nivelées à double, pour obtenir toujours un contrôle suffisant.

Le 9 août, M. Kern nous livra le second instrument; après en avoir déterminé les constantes, nous le confiâmes à M. Schönholzer, le 12 août, en le chargeant de relier d'abord par un petit polygone l'observatoire de Neuchâtel aux deux repères que nous avions placés, l'un à la colonne météorologique près du môle de la ville, qui a servi de point de départ pour les anciennes mesures hypsométriques de M. d'Osterwald, et l'autre à la gare de Neuchâtel. Ce dernier a été rattaché au polygone du Chasseral par un double nivellement conduit jusqu'à Pierrabôt. La clôture du polygone du Chasseral ayant montré une erreur plus forte que celle que nous avions admise, nous avons fait répéter le nivellement des sections Pierrabôt-Chaumont, Chuffort-Pâquier et Pâquier-Dombresson. De même, le polygone de Neuchâtel a été répété par M. Schönholzer, après qu'il eut été remédié à un petit défaut, qui se trouvait dans la monture du niveau et qui en rendait la correction trop variable.

En même temps, M. Benz commença un autre polygone, en suivant la route postale de Pâquier à Saint-Imier et de là à la Chaux-de-Fonds,

pour revenir par l'ancienne grande route de Neuchâtel et fermer à Valengin ce second polygone. Comme l'erreur de clôture de ce polygone ne laissait rien à désirer, M. Benz a commencé de suite le nivellement destiné à nous rattacher à la France à Morteau, en suivant d'abord le chemin de fer de la Chaux-de-Fonds au Locle, et du Locle la grande route par les Brenets à Morteau. Là, après avoir obtenu sans difficulté l'autorisation des autorités locales, nous avons placé un repère fédéral à l'hôtel de ville, et nous espérons qu'il sera relié par les ingénieurs français à leur réseau de premier ordre. Toute cette section a été répétée dans le sens inverse de Morteau à la Chaux-de-Fonds; les deux opérations s'accordent parfaitement.

M. Schönholzer a commencé le 31 août le nivellement à Genève, en partant de la Pierre du Niton, qui est le point de départ de tout notre réseau, et dont la hauteur au-dessus de la Méditerranée est connue par le nivellement français. De Genève, où notre ingénieur a compris dans sa ligne un autre repère, que M. Plantamour avait fait sceller dans la colonne du limnimètre, M. Schönholzer a suivi la grande route par Coppet à Nyon, d'où il est allé rattacher notre réseau à un autre repère français à *la Cure,* près les Rousses. Cette ligne de raccordement attend encore sa vérification, avant d'être publiée. De Nyon, M. Schönholzer a continué par Morges à Yverdon, et de là il a suivi le chemin de fer vers Neuchâtel, d'où M. Benz est parti à sa rencontre; les deux ingénieurs se sont rencontrés le 29 octobre à Bevaix. Comme les jours devenaient trop courts et le temps trop incertain, nous avons fait cesser alors les travaux.

En résumant le travail fait pendant la campagne de 1865, le premier instrument a été employé depuis le 9 juillet, et l'autre depuis le 12 août jusqu'au 29 octobre, ce qui donne pour les deux ensemble 191 jours, dans lesquels on a nivelé un parcours de 293 kilomètres, ce qui fait $1^{k},73$ par jour. Mais si l'on retranche les jours de mauvais temps et de chômage, au nombre de 48, il ne reste que 143 véritables jours de travail, ce qui donne en moyenne *un parcours de 2 kilomètres par jour et*

par instrument, résultat fort satisfaisant en ayant égard à la circonstance, que la campagne de cette année comprend une des parties les plus difficiles dans les montagnes du Jura.

Pendant que les ingénieurs travaillaient, et à mesure que leurs feuilles d'observation parvenaient aux observatoires de Neuchâtel et de Genève, les calculs de réduction étaient fait à double par les astronomes adjoints, MM. Schmidt et Bruderer, d'après une méthode que nous allons expliquer en détail. Ensuite, dans des conférences fréquentes que nous avons eues à Lausanne, ou à l'un de nos observatoires, nous avons comparé le résultat des deux calculs d'un repère à l'autre, et partout où nous trouvions un désaccord de plus d'une unité de la dernière décimale conservée (les dixièmes de millimètre), nous avons vérifié les calculs de réduction pour trouver l'erreur, en recourant au besoin aux observations originales. Enfin, nous en faisions le résumé, en établissant la différence de niveau, d'un repère à l'autre, au dixième de millimètre près, et la distance au mètre près.

Ces réductions longues et pénibles occupèrent une grande partie de l'hiver, mais elles nous donnèrent, par l'exiguïté de l'erreur probable des résultats, qui n'atteignait pas un millimètre par kilomètre sur un terrain favorable, la certitude que les méthodes suivies et les instruments employés ne laissaient rien à désirer. M. Hirsch constata ce succès dans un rapport, qu'il adressa le 9 juin 1866 à M. le professeur Wolf, président de la Commission géodésique, et qui fut communiqué au Département fédéral de l'intérieur. Le crédit nécessaire ayant été renouvelé par les autorités fédérales, la Commission décida, dans sa séance du 4 avril 1866, d'achever dans la campagne de cette année le réseau de la Suisse occidentale, en répétant la ligne de Genève à Morges, en exécutant les polygones de Neuchâtel-Morges-Lausanne-Fribourg-Morat-Neuchâtel, de Neuchâtel-Bienne-Aarberg-Berne-Fribourg-Morat-Neuchâtel, en nivelant enfin la ligne de Bienne-Saint-Imier pour former un polygone avec les lignes de Saint-Imier-Chaux-de-Fonds-Neuchâtel. — Pendant le printemps, les instruments furent nettoyés et réparés par

M. Kern, et quelques légères modifications indiquées par l'expérience y furent apportées. Les deux mêmes ingénieurs entrèrent en campagne un peu tard, à cause du mauvais temps qui régnait au mois de mai et de juin : M. Schönholzer le 19 juin, et M. Benz le 4 juillet. M. Schönholzer, après avoir fait un petit nivellement de contrôle dans les environs de Neuchâtel, a été employé du 22 juin au 27 août à niveler les sections Neuchâtel-Morat-Fribourg-Romont-Rue-Lausanne-Morges. Pendant ce temps, M. Benz nivela une seconde fois la ligne de Morges à Genève, puis il exécuta les sections Neuchâtel-Bienne-Sonceboz-Saint-Imier, et enfin il alla de Bienne par Aarberg à Berne, où il se rencontra avec M. Schönholzer, qui avait nivelé la ligne de Fribourg à Berne. En passant par Morat et Aarberg, nos ingénieurs ont été chargés de comprendre dans leur nivellement les extrémités de l'ancienne base trigonométrique près de Sugy et de Walperswyl, ainsi que les limnimètres du lac de Morat et de la Broye à Sugy.

Comme la comparaison des deux opérations exécutées entre Morges et Genève montra quelques discordances dépassant la limite d'erreur que nous avions admise, et que cette ligne, qui rattache tout le réseau des polygones au point de départ de la Pierre du Niton, a une importance particulière, nous envoyâmes M. Schönholzer pour refaire une troisième fois les quelques sections douteuses, jusqu'à ce que l'accord voulu fût obtenu.

Le calcul a montré également que les deux polygones Neuchâtel-Bienne-Berne-Fribourg-Morat-Neuchâtel et Neuchâtel-Bienne-Saint-Imier-Chaux-de-Fonds-Neuchâtel ne se fermaient pas d'une manière satisfaisante. Comme l'erreur commise ne s'est pas trouvée dans la section de Neuchâtel-Bienne, que M. Schönholzer a nivelée une seconde fois, nous attendons la rectification qui sera fournie par la campagne de 1867, avant de publier cette partie du réseau.

En somme, on a nivelé, dans la campagne de 1866, une longueur de 367 kilom., dont 301 kilom. forment des lignes nouvelles et 66 kilom. des nivellements de contrôle. Sur les 185 jours que les deux instru-

ments ont été en campagne, il y a eu en somme 142 jours de travail effectif, les 43 autres jours étant perdus par le mauvais temps, les jours de fêtes, les déplacements, etc. Il s'en suit que, dans cette campagne, on a nivelé $1^k,983$ par jour, et $2^k,584$ par jour de travail effectif, c'est-à-dire un quart de plus que dans la première campagne. — La réduction des observations a été continuée de la même manière qu'auparavant, et que nous expliquerons en détail dans un chapitre spécial. Pour compléter l'historique et pour ainsi dire la statistique de nos opérations, nous ajouterons encore que nous avons jusqu'à présent établi *26 repères fondamentaux*, consistant dans des cylindres de bronze d'un décimètre de long et de 3 centimètres d'épaisseur, scellés verticalement au ciment dans des rochers ou dans des bâtiments publics; le cylindre se termine par une plaque horizontale polie d'un diamètre de 6 centimètres, placée à fleur du rocher ou de la pierre; cette plaque porte pour inscription les lettres NF (nivellement fédéral) et un numéro d'ordre. Nous avons préféré cette forme aux repères français fixés horizontalement, parce qu'elle offre le grand avantage de pouvoir placer la mire directement sur le repère. Voici la liste de ces repères :

NF N° 1 à Neuchâtel (Colonne météorologique au môle).
2 à Neuchâtel (Gare).
3 au Chaumont (Signal).
4 au Chasseral (Sommet près du signal).
5 à Pâquier (Maison d'école).
6 à Saint-Imier (Grande rue, maison n° 14).
7 à la Chaux-de-Fonds (Hôtel de ville).
8 au Locle (Hôtel des postes).
9 à Morteau (Hôtel de ville).
10 à Auvernier (Gare).
11 à Coppet (Poste de gendarmerie).
12 à Nyon (Ancienne douane).
13 à La Cure (Maison Jaget-Stane).
14 à Rolle (Obélisque de l'île de La Harpe).
15 à Morges (Église).

N° 16 à Yverdon (Église).
17 à Morat (Collége).
18 à Fribourg (Église).
19 à Romont (Maison de ville).
20 à Rue (Maison de ville).
21 à Bienne (Maison de ville).
22 à Sonceboz (Maison Rosselet).
23 à Lausanne (Maison du juge, au château).
24 à Aarberg (Hôtel de la Couronne).
25 à Berne (Palais fédéral).
26 à Berne (Gare).

Mais à côté des repères fondamentaux, nous avons encore déterminé *428 repères intermédiaires.* Ces repères ont été établis à chaque interruption de l'opération, le soir, ou à midi, ou enfin lorsque le mauvais temps obligeait de cesser le travail, sur des rochers, sur des bornes le long de la route, sur des marches d'escalier, etc.; l'aide de l'ingénieur les traçait avec de la couleur noire, en dessinant au pinceau un cercle de 6 à 8 centimètres, avec un point au milieu, à l'endroit même, où la mire avait reposé sur son éperon à la dernière station de la veille, et où on la replaçait le lendemain. On traçait également à la couleur un numéro d'ordre, à côté de ce cercle, par exemple, ⊙ 33; ce numéro d'ordre se rapporte spécialement à chacune des lignes de nivellement. La position de ces points de repères est indiquée par les ingénieurs de façon à ce qu'ils puissent, pour la plupart du moins, être retrouvés facilement par leur désignation. Il est du reste à espérer que la plupart de ces points, dont nous avons ainsi déterminé la hauteur avec la plus grande précision, seront marqués au ciseau par les soins des administrations cantonales; celles-ci, en effet, ont tout intérêt à conserver ainsi un réseau de points hypsométriques, qui leur seront d'une grande utilité dans bien des cas.

Pour relier entre eux ces *454 repères,* il n'a pas fallu moins de *8332* stations des instruments, ou bien *16,664* coups de niveau, ce qui donne 18 stations à peu près en moyenne entre deux repères consécutifs. Et

comme le parcours total des lignes nivelées a une longueur de *660* kil., les repères sont en moyenne éloignés l'un de l'autre de *1454* mètres; les stations de l'instrument se sont succédé en moyenne à 80 mètres de distance, ce qui donne 40 mètres pour la distance moyenne d'un coup de niveau.

§ II.

Méthode de nivellement et description des appareils.

Pour des nivellements de précision, la seule méthode pratique est celle du nivellement depuis le milieu, parce qu'elle rend les résultats indépendants, non-seulement des erreurs instrumentales, mais aussi de l'influence de la dépression de l'horizon et de la réfraction; aussi l'avons-nous employée exclusivement. Cependant dans la pratique, à moins d'employer des procédés trop longs, il faut se contenter d'une égalité approximative entre les distances de la mire, dans sa station en arrière et en avant de l'instrument, égalité telle qu'on peut l'obtenir en faisant compter les pas à l'aide qui porte la mire. Sur des pentes un peu fortes, comme on les rencontre souvent sur nos routes, et surtout dans le terrain accidenté des montagnes, quelquefois enfin vers la fin d'une opération près du repère, la différence entre la distance en arrière et la distance en avant peut devenir assez forte. Nous avons fait, pour cette raison, construire les instruments de telle manière que la lecture de la mire donnât en même temps la distance avec une exactitude suffisante, et que l'on pût déterminer les erreurs instrumentales à chaque instant et avec facilité. Dans ces conditions, on pouvait éliminer au moyen du calcul l'influence des erreurs instrumentales, sans être obligé, ni de s'astreindre à une égalité rigoureuse des distances de la mire, ni de faire la lecture de celle-ci dans les quatre positions de l'instrument, dont la moyenne est indépendante des erreurs instrumentales; ce dernier pro-

cédé, qui suppose la constance des corrections de l'instrument pendant qu'on le manie, a le grand inconvénient de sacrifier trop de temps à l'élimination des erreurs instrumentales. Pourvu que la construction de l'instrument soit assez bonne et assez solide, pour que l'on puisse compter sur la constance des erreurs instrumentales pendant la série d'observations faites le même jour, il suffit de déterminer les corrections chaque fois qu'on monte l'instrument, et d'appliquer aux résultats les petites corrections qui en résultent.

C'est cette méthode que nous avons suivie, et en vue de laquelle nous avons fait construire nos instruments par M. E. Kern, d'Aarau. Ces instruments ont essentiellement la forme que leur a donnée Ertel, de Munich, modifiée et perfectionnée dans certains points. Comme nous avions posé en principe que l'erreur d'un coup de niveau ne devait pas dépasser 1 millimètre à une distance de 100 mètres, ce qui donne 2″ d'arc pour limite d'erreur, il a fallu se servir de lunettes assez fortes et de niveaux plus sensibles que ceux que l'on emploie ordinairement pour les nivellements. Les lunettes de nos instruments ont, en mesure de Paris, l'une $14^{l},5$ d'ouverture sur 15^{p} 2^{l} de distance focale, l'autre 15^{l} d'ouverture sur 15^{p} de distance focale; leurs oculaires astronomiques grossissent 42 et 43 fois. Pour trouver les niveaux qui pratiquement donnent le meilleur résultat, nous en avons essayé de sensibilité différente; les plus sensibles de Repsold, dont une partie, ayant une longueur d'une ligne, équivalait à 1″,5, ne pouvaient pas être employés en plein air, car le moindre vent, un rayon de soleil, ou la proximité de l'observateur les maintient en mouvement continuel. Nous nous sommes arrêtés à des niveaux d'Ertel, dont une partie, d'une longueur d'une ligne, correspond à 3″ environ; on évalue facilement les dixièmes des divisions, et leur sensibilité est au-dessous d'une seconde. Tous les niveaux employés ont été examinés scrupuleusement, et la valeur de leurs divisions déterminée au moyen du cercle méridien de 3 pieds de l'observatoire de Neuchâtel. Pour la construction des instruments, nous indiquerons seulement quelques détails qui leur sont particuliers. Ils reposent sur trois vis

à caler, pour lesquelles nous avons adopté le système de M. Wild, de Zurich; ces vis sont terminées par des sphères de 15^{mm}, qui entrent dans des calottes hémisphériques fixées au trépied; en serrant des crochets au moyen de vis de pression, on les y fixe solidement, de sorte que le trépied et le niveau forment corps ensemble. D'autres crochets à ressort très-commodes fixent à la fois la lunette sur ses coussinets et le niveau sur les tourillons de la lunette, de sorte que l'on peut transporter tout l'instrument de station en station, sans rien démonter. Et cependant, en ouvrant un de ces crochets à ressort, sous lesquels entrent de petits axes en acier, fixés aux extrémités de la monture du niveau, on peut facilement retourner ce dernier sur la lunette, pour en déterminer l'erreur; ou bien, en ouvrant les deux crochets, on peut retourner la lunette bout à bout, afin de déterminer au moyen du niveau l'inégalité des tourillons, et le défaut de parallélisme qui en résulte entre l'axe de figure de la lunette et la ligne de niveau. Cette correction est très-faible pour les deux lunettes, et elle ne s'est pas sensiblement accrue par l'usure dans l'espace de deux ans; d'un jour à l'autre, elle varie dans des limites très-étroites, par suite de l'échauffement inégal de l'instrument, par la présence accidentelle d'un peu de poussière dans les coussinets, etc.

Une autre correction, la collimation de l'axe optique, se détermine facilement en tournant la lunette de 180° autour de son axe, et en faisant la lecture de la mire dans les deux positions; lorsqu'elle dépasse une certaine quantité, elle se corrige au moyen de vis qui déplacent le réticule. Enfin, l'erreur du niveau, qui est placé librement sur les tourillons de la lunette, à l'instar des grands niveaux, au moyen desquels on détermine l'inclinaison de l'axe des lunettes méridiennes, s'obtient en le retournant sur la lunette; lorsque l'erreur dépasse quelques divisions, elle est corrigée au moyen de vis qui soulèvent ou abaissent une coulisse dans la monture du niveau; une autre coulisse permet un mouvement dans le sens perpendiculaire à l'axe, afin de corriger l'erreur latérale du niveau. L'expérience a montré que, dans le courant des opérations d'un jour, la somme des erreurs instrumentales n'a pas varié, en moyenne,

au delà de 3″; et comme la différence des distances en avant, et en arrière de l'instrument, n'a pas dépassé en moyenne 20^m à 30^m, pour la somme des coups de niveau entre deux repères, l'erreur commise suivant la méthode adoptée, en supposant les erreurs instrumentales constantes pendant une opération, ne dépasse pas en moyenne $0^{mm},4$ à $0^{mm},5$; elle reste ainsi dans les limites des erreurs *d'observation proprement dites.*

Les lunettes de nos instruments sont pourvues d'un fil rendu mobile, dans le sens vertical, au moyen d'une vis micrométrique, dont le tambour est divisé en 100 parties. La valeur d'une de ces parties est pour l'un des instruments 1″,409, et pour l'autre 1″,407. Ce micromètre devait servir à deux buts à la fois : d'abord, à mesurer l'angle que soustend un centimètre de la mire à différentes distances, afin d'obtenir ainsi ces distances mêmes, d'après la méthode des stadia; la distance étant connue, on peut, dans la réduction des observations, tenir compte de l'inclinaison de la lunette et des corrections instrumentales. Le micromètre devait servir ensuite à subdiviser les centimètres tracés sur la mire, en mesurant les distances du fil fixe de la lunette aux deux traits de la mire, entre lesquels il se trouve compris. Dans ce but, l'ingénieur, après avoir noté le centimètre et évalué la fraction de centimètre, amenait le fil mobile d'abord sur le trait inférieur, ensuite sur le fil fixe et enfin sur le trait supérieur; c'est ainsi qu'on a procédé avec le premier instrument dans la campagne de 1865. Mais nous ne tardâmes pas à nous convaincre, par le calcul, que l'évaluation de la fraction du centimètre n'était point inférieure en exactitude à la mesure micrométrique; il était dès lors plus avantageux de remplacer le fil mobile par trois fils fixes, car l'espace que les fils extrêmes embrassent sur la mire, combiné avec leur distance angulaire, déterminée une fois pour toutes, fait connaître également la distance de la mire. Si l'on réduit, au moyen des distances angulaires des fils, la moyenne des trois fils au fil du milieu, on obtient, par la moyenne des trois évaluations, la position de l'axe de la lunette sur la mire avec une exactitude supérieure à celle qu'on peut atteindre au moyen de la mesure

micrométrique. Cette méthode est non-seulement plus expéditive, mais elle a en outre l'avantage que l'observateur, après avoir rendu la lunette horizontale au moyen des vis à caler, et finalement au moyen d'une vis d'élévation très-fine, n'a plus besoin de toucher à l'instrument, ce qui ne peut être évité dans les mesures micrométriques. C'est pour ces raisons que, dans la commande du second instrument, il fut prescrit que le réticule porterait trois fils horizontaux, espacés de trois minutes et demie environ, et nous fîmes munir le premier instrument d'un réticule semblable pour la campagne de 1866.

L'expérience a parfaitement justifié ce changement, et démontré la supériorité de l'évaluation relativement à la mesure micrométrique. Car, pour déterminer la distance angulaire des fils, nous avons observé soit par évaluation, soit par mesure micrométrique, l'espace embrassé sur la mire par les fils, en plaçant la mire à des distances connues de l'instrument, et en faisant varier ces distances entre les limites de 10^m et 100^m. En répétant un grand nombre de fois ces observations, nous avons pu, par les écarts des observations avec leur moyenne, calculer l'erreur moyenne, soit d'une évaluation, soit d'une mesure micrométrique. Or, nous avons trouvé ainsi pour le premier instrument:

l'erreur moyenne d'une évaluation . . . . . = $\pm 0'',838$
» » d'une mesure micrométrique . $\pm 1,112$

et pour le second instrument:

l'erreur moyenne d'une évaluation . . . . . = $\pm 1,112$
» » d'une mesure micrométrique . $\pm 1,578$

On voit par ces erreurs, qui sont tout à fait à la limite du pouvoir optique de nos instruments, que l'évaluation donne la fraction du centimètre avec une précision notablement plus grande que la mesure micrométrique; aussi cette dernière n'a-t-elle plus été employée qu'exceptionnellement. Dans les observations faites avec le premier instrument, dans la première campagne, on prenait la moyenne de l'évaluation et de la mesure micrométrique; l'erreur moyenne d'une observation ainsi faite,

se montait à $\pm 0'',69$. Dans la méthode d'évaluation à trois fils fixes, adoptée pour cet instrument pour la campagne de 1866, et dès la première année pour le second, l'erreur de la moyenne des trois fils s'élève à $\pm 0'',48$ pour le premier instrument et à $\pm 0'',64$ pour le second.

La même méthode nous a permis de contrôler l'exactitude des divisions de nos mires, en plaçant celles-ci à des distances différentes, mesurées exactement d'avance, et en pointant un grand nombre de traits consécutifs. On peut ainsi calculer, pour chaque distance de la mire, l'erreur moyenne qu'on commet en mesurant, au moyen du micromètre, l'espace occupé par les différents centimètres; ces erreurs comprennent à la fois les erreurs de division et les erreurs de pointage ou d'observation. Les voici exprimées en parties du micromètre et en millimètres :

Distance de la mire.	Erreur moyenne dans la mesure d'un centimètre.			
	Ier Instrument.		IIme Instrument.	
m	p	mm	p	mm
10	±1,28	±0,07	±1,49	±0,10
20	1,37	0,18	1,59	0,20
30	1,00	0,20	1,48	0,30
40	1,33	0,36	1,25	0,34
50	1,05	0,37	1,39	0,47
60	1,07	0,44	1,21	0,49
70	1,40	0,67	1,32	0,62
80	1,09	0,59	1,03	0,56
90	1,21	0,74	1,08	0,66
100	1,08	0,73	1,16	0,79

On voit ainsi, d'une part, que même à la distance de 100m, l'espace occupé par un centimètre peut encore être mesuré à 7 ou 8 dixièmes de millimètre près, et à la distance de 40m, qui est la moyenne dans nos opérations, l'erreur est seulement d'un tiers de millimètre. D'autre part, on peut se convaincre par ces chiffres, que la division des mires laisse très-peu à désirer, grâce aux soins extraordinaires que M. Kern a mis à leur construction.

Les mires sont des perches en bois de sapin très-sec, d'une longueur

de 3^m, d'une largeur de 8^{cm} et de $2^{cm},2$ d'épaisseur. Pour leur donner plus de solidité, elles ont une carène, ou nervure dorsale, de $4^{cm},8$ d'épaisseur sur 2^{cm} de largeur. La division est en centimètres, alternativement noirs et blancs, comme on fait ordinairement les mires parlantes; les traits de centimètres ont une largeur de $3^{cm},2$ et les numéros sont inscrits au bord, d'un côté les pairs, de l'autre les impairs. Pour exécuter la division, M. Kern a tracé d'abord les traits au moyen de la machine à diviser, et les a peints ensuite lui-même au pinceau avec beaucoup de soin. Il est arrivé ainsi à une précision telle, que les erreurs de division ne dépassent pas les limites des erreurs d'observation. Il n'en est pas de même pour la longueur absolue, et pour l'équation des deux mires; là, on trouve des corrections assez fortes, dues probablement à une équation assez notable de l'échelle normale, dont le constructeur s'est servi, et peut-être aussi, à ce qu'il a négligé l'effet de la température sur son échelle.

En attendant que nous eussions à notre disposition les moyens nécessaires pour vérifier la longueur absolue des mires, nous avons cherché d'abord à constater leur équation. Pour y arriver, nous avons fait sceller dans le rocher devant l'observatoire de Neuchâtel deux repères en bronze, à une différence de niveau de 290^{cm} environ; l'instrument a été placé également sur le rocher, exactement à la même distance, 30^m, de chacun des deux repères, ce qui permettait de négliger complétement les erreurs instrumentales, puis nous avons mesuré un grand nombre de fois la différence de niveau entre les deux repères, en nous servant alternativement des deux mires. On plaçait chacune des mires d'abord sur le repère supérieur, on lisait le niveau, on faisait la lecture des trois fils, dont l'inférieur se trouvait dans le deuxième centimètre (le premier centimètre n'a jamais été employé) et on notait une seconde fois le niveau; ensuite on transportait la mire sur le repère inférieur, où elle était maintenue dans son trépied dans une position parfaitement verticale, vérifiée au moyen du fil à plomb, et on faisait la même série d'opérations, en laissant de côté cette fois le dernier centimètre; après avoir changé un

peu l'inclinaison de la lunette, pour modifier la position des fils sur la mire, on répétait cette opération; et enfin on reportait la mire sur le repère supérieur, pour y faire également une seconde détermination. Il est évident qu'on pouvait exprimer ainsi avec précision la même différence de niveau, en se servant de chacune des deux mires comme unité, et établir par conséquent leur équation. Nous avons trouvé pour cette différence de niveau entre les deux repères:

par la Ire mire. . . . . $290^{cm},2756 \pm 0^{cm},0090$
par la IIe » . . . . . $290^{cm},3969 \pm 0^{cm},0092$

d'où résulte pour l'équation de la longueur totale des deux mires:

$$\mathrm{I} - \mathrm{II} = -1^{mm},255 \pm 0^{mm},128$$

dont la première est plus longue que l'autre. Nous n'avons pas pu découvrir une influence exercée par les circonstances atmosphériques sur la longueur relative des mires. Une différence aussi forte des deux mires rendait plus indispensable encore la détermination de leur correction absolue, que nous avons pu heureusement obtenir encore ce printemps. En effet, le comparateur, que la Confédération a fait construire pour son bureau de poids et de mesures, récemment organisé à Berne, a été complétement terminé et installé vers la fin du mois de mars, et avec le concours obligeant de notre collègue, M. le professeur Wild, à Berne, nous y avons pu effectuer, au moyen de microscopes grossissant 20 fois, la comparaison de nos deux mires avec une échelle métrique, dont M. Wild avait déjà déterminé le coefficient de dilatation, ainsi que son équation avec le mètre prototype de la Confédération, comparé lui-même au mètre des Archives de Paris. En tenant compte de la correction de l'échelle et de la température, à laquelle nous observions, nous avons trouvé les deux mires sensiblement trop longues, car nous avons:

Correction de la mire I, par mètre. . . . . $-0^{mm},808$
Correction de la mire II, par mètre . . . . $-0^{mm},404$

d'où suit pour la correction de la longueur totale des mires:

$$\begin{array}{ll} \text{pour I} & -2^{mm},424 \\ \text{pour II} & -1^{mm},212 \\ \hline \text{I} - \text{II} = & -1^{mm},212 \end{array}$$

c'est-à-dire à quatre centièmes de millimètre près, le résultat que nous avait fourni la comparaison directe.

Il en résulte, en outre, que toutes les mesures qui ont été exécutées au moyen de la mire I, doivent être multipliées par le coefficient *1,000808*, et les nombres obtenus avec la mire II par le coefficient *1,000404*.

Pour compléter la description des mires, nous ajouterons qu'elles sont munies de poignées à la hauteur d'un mètre, et d'un niveau à boîte placé à $1^{m},35$; pour contrôler ce dernier, elles portent en outre un fil à plomb, au moyen duquel on règle chaque jour la position du niveau Dans des conditions défavorables de vent, ou de terrain, et pour la détermination de l'erreur de collimation, la mire est fixée dans une espèce de trépied, qui en maintient la verticalité; ordinairement, le porte-mire la tient à la main, en s'assurant de la verticalité à l'aide du niveau à boîte.

Enfin, l'expérience nous ayant montré une source d'erreur très-considérable dans l'opération du retournement de la mire sur elle-même, lorsque le terrain n'est pas parfaitement uni et horizontal, nous avons fait ajouter au bas de la mire un éperon en fer, de forme cylindrique et arrondi sphériquement à son extrémité; cet éperon entre librement dans un trou correspondant d'une plaque en fonte assez lourde, qui porte sur sa surface inférieure des pointes peu saillantes. Le porte-mire la pose sur le sol, et la fixe solidement à coups de talon, en la rendant horizontale, au besoin, au moyen de coins en bois qu'il enfonce avec le pied, jusqu'à ce que la plaque reste immobile, pendant qu'on fait pivoter la mire dans tous les sens. De cette manière, la mire ne se déplace pas pendant l'opération du retournement. Nous envisageons un pareil arrangement comme une condition essentielle d'un nivellement de précision.

Ajoutons encore que l'instrument est tenu continuellement à l'ombre au moyen d'un grand parasol, lorsqu'on travaille au soleil.

§ III.

Méthode d'opération et règlement imposé aux ingénieurs.

Indépendamment des erreurs inévitables d'observation, les opérations du genre de celles dont il s'agit sont exposées à des erreurs fortuites de lecture, d'écriture ou de réduction, qui exigent des précautions spéciales. Dans ce but, nous avons d'abord posé le principe *de séparer complétement l'observation du calcul;* les observations sont faites par des ingénieurs capables, qui doivent les exécuter d'après un règlement dont nous allons communiquer les dispositions essentielles, et qui sont tenus d'envoyer régulièrement les observations originales et des copies collationnées aux deux observatoires de Neuchâtel et de Genève, où les réductions et calculs sont faits à double.

Nous avons montré, dans le chapitre précédent, que les erreurs d'observation proprement dites ne dépassent pas quelques dixièmes de millimètre, pour chaque coup de niveau; mais, malgré tous les soins, l'ingénieur est exposé, en faisant la lecture, ou en inscrivant l'observation, à commettre des erreurs de centimètres entiers, ou même de décimètres et de mètres. Il est vrai que la probabilité d'une telle méprise est considérablement diminuée par l'accord qui doit se trouver, soit entre les trois fils fixes, soit entre l'évaluation et la mesure micrométrique; mais si l'ingénieur ne s'aperçoit pas immédiatement du désaccord, qui peut exister entre ces chiffres, et ne les rectifie pas par une nouvelle lecture, lequel de ces chiffres discordants le calculateur doit-il adopter? Il se pourrait en outre que, par suite d'un accident arrivé à un instrument, les observations soient entachées d'erreurs systématiques, que la réduction ne ferait pas disparaître. Il faut donc une garantie pour l'exactitude des résultats, quelles que soient les précautions employées pour l'observation. La plus forte garantie est sans contredit celle employée par les

ingénieurs français, de faire niveler toutes les sections à double, et à triple, par des ingénieurs différents opérant à différentes époques et avec des instruments différents. Il nous a semblé cependant, qu'en doublant et en triplant ainsi tout le travail, nous prolongerions trop l'exécution de notre entreprise et nous en augmenterions les frais outre mesure. En disposant partout, où cela est possible, les lignes de nivellement de telle façon qu'elles forment des polygones, la clôture de ces polygones fournit une garantie presque équivalente. Car la possibilité, que les erreurs commises sur les différentes sections se compensent dans l'ensemble du polygone, n'offre une probabilité appréciable, que pour les petites erreurs d'observation seulement, et cette compensation est alors sans aucun inconvénient; mais une pareille compensation est, sinon impossible, du moins excessivement peu probable pour les grandes erreurs, à cause de leur rareté relative. Nous avons donc adopté le système polygonal comme règle, en statuant que les lignes, qui ne peuvent pas être comprises dans un polygone, doivent être nivelées à double et d'une manière indépendante. Lorsqu'un polygone a montré une erreur de clôture au-dessus de $3^{mm}\sqrt{k}$, k étant le nombre de kilomètres compris dans le contour du polygone, nous avons fait répéter les sections douteuses jusqu'à ce qu'un accord satisfaisant fût obtenu. La même limite d'erreur a été admise pour l'accord entre deux nivellements d'une même ligne.

Voici maintenant les dispositions principales du règlement d'après lequel les opérations sont exécutées :

1) Le nivellement est fait autant que possible depuis le milieu, c'est-à-dire l'observateur aura soin, en faisant compter les pas au porte-mire, que les deux stations consécutives de la mire soient à des distances de l'instrument aussi égales que possible. La différence des deux distances, en arrière et en avant de l'instrument, ne doit jamais dépasser 10 mètres.

2) Les coups de niveau se donnent en moyenne aux distances suivantes :

1° Sur les chemins de fer dont les rampes ne dépassent pas 1 %. . . . . à 100m
2° Sur les chemins de fer à plus fortes rampes. . . . à 50-100m
3° Sur les grandes routes de la plaine. . . . . à 30-60m
4° Sur les routes de montagnes . . . . . à 10-25m

3) Les mires doivent être placées sur les plaques qui les accompagnent. Elles doivent être rendues verticales au moyen du niveau à boîte et du fil à plomb; l'ingénieur vérifie chaque jour le niveau au moyen du fil à plomb, et le porte-mire se sert ensuite du niveau à boîte. Lorsqu'il fait du vent, les mires doivent être fixées dans leurs trépieds et y être ajustées verticalement. Les ingénieurs doivent se procurer des porte-mires capables et consciencieux.

4) L'instrument à niveler doit toujours être abrité du soleil par le parasol pendant les observations; il est transporté de station en station sans être démonté.

5) L'ingénieur détermine les trois erreurs instrumentales au commencement et à la fin de chaque série d'observations, c'est-à-dire après avoir monté l'instrument et avant de le démonter, et en tout cas au moins une fois par jour. Si l'instrument a été dérangé par un choc, ou tel autre accident, il faut en déterminer de nouveau les corrections.

6) Ces trois corrections sont : *a)* la collimation de l'axe optique; *b)* le défaut de parallélisme entre l'axe de figure et l'axe optique de la lunette, provenant de l'inégalité des tourillons; *c)* l'erreur du niveau.

a) La collimation de l'axe optique se détermine en tournant la lunette de 180° autour de son axe; la mire, placée à une distance d'environ 50m, est observée dans ces deux positions, l'indication du niveau étant notée chaque fois. On commence par l'observation dans la position normale de la lunette (le tambour du micromètre se trouvant en bas), ensuite on la tourne de 180°, et enfin on répète l'observation dans la première position. Si la collimation dépasse 5″, ce qui suppose une différence de 5mm entre les lectures faites dans les deux positions, la distance de la mire étant de 100m, l'ingénieur la corrigera au moyen des vis du réticule.

b) L'inégalité des tourillons se détermine en retournant la lunette, bout à bout, dans ses coussinets, et en faisant la lecture du niveau dans ces deux positions, sans rien toucher du reste à l'instrument. On commence par la position normale de la lunette (où le micromètre se trouve au-dessus de la vis d'élévation), on la retourne et on nivelle une seconde fois dans la première position.

c) En retournant, dans chacune de ces dernières opérations, le niveau sur la lunette, on obtient en même temps trois déterminations de la correction du niveau, dont on prend la moyenne. Si cette erreur dépasse deux divisions du niveau, l'observateur la réduira dans ces limites au moyen des vis de correction.

Tous les détails de ces déterminations d'erreurs doivent être inscrits, comme les observations elles-mêmes, dans le carnet, qui doit être envoyé aux membres de la Commission chargés des réductions.

7) Chaque fois qu'on met l'instrument en station, on commence par rendre son axe vertical au moyen des vis à caler, de telle sorte qu'on puisse faire faire à la lunette le tour de l'horizon sans que la bulle du niveau parcoure un grand nombre de divisions. On finit par rendre la lunette horizontale au moyen de la vis d'élévation. L'inclinaison, au moment de la lecture, ne doit pas dépasser ordinairement trois divisions du niveau (9″), et jamais cinq divisions.

8) L'observation se fait dans l'ordre suivant :

a) Après avoir rendu la lunette horizontale et après avoir amené le fil vertical de la lunette sur la ligne du milieu de la mire, l'observateur note d'abord l'indication du niveau, lorsque ce dernier est devenu stationnaire; il inscrit toujours en premier lieu et dans la colonne de gauche la lecture du côté de l'oculaire, puis, à droite celle du côté de l'objectif, en évaluant les dixièmes de division du niveau.

b) Sur l'avis du porte-mire, que la mire est verticale, l'ingénieur fait la lecture de la position des trois fils sur la mire, en commençant par le fil inférieur et en évaluant la fraction du centimètre en millimètres et, le cas échéant, en fractions de millimètre. Après avoir inscrit les trois

lectures, il s'assure, en prenant à vue d'œil leur différence, s'il ne s'est point trompé dans les centimètres, pour pouvoir au besoin rectifier l'erreur.

c) Enfin, l'observateur fait une seconde fois la lecture du niveau, et l'inscrit au-dessous de la première.

9) Toutes ces observations sont inscrites telles quelles, au fur et à mesure qu'elles sont faites, dans un carnet que l'ingénieur reçoit de la Commission. Dans les coups de niveau consécutifs, les stations de la mire en arrière sont désignées par a_1, a_2, a_3, etc., et les stations en avant par b_1, b_2, b_3, etc. La première station en arrière est toujours sur un repère, où les opérations précédentes ont été arrêtées, et sur lequel la mire est placée sur son éperon et sans la plaque, et de même la dernière station en avant se trouve sur un repère semblable. Chaque soir, l'ingénieur fait la copie exacte des observations du jour, et la collationne à l'aide du porte-mire. Il est interdit formellement aux ingénieurs d'introduire après coup une correction quelconque. Aussitôt que l'ingénieur arrive à portée d'un bureau de poste, il envoie les feuilles d'observation détachées du carnet à l'observatoire de Neuchâtel, et lorsqu'il a reçu l'avis de leur arrivée, il envoie les copies à l'observatoire de Genève.

10) Les opérations doivent être continuées sans interruption pendant la bonne saison, sauf les jours de pluie et de fort vent. La longueur de la ligne nivelée par jour sera, en moyenne, de 3 kilomètres au moins le long des chemins de fer, et sur les routes de la plaine de 2 kilomètres au moins.

11) A chaque kilomètre environ, l'ingénieur aura soin de marquer la position de la mire par un repère, tracé à l'huile, sur une borne, ou sur un objet en maçonnerie. La situation de ces repères doit être clairement décrite et indiquée dans le carnet d'observation. Il marque également avec soin, par un repère semblable, la dernière position de la mire, lorsqu'il termine une série d'observations, en sorte qu'il puisse la replacer exactement sur le même point, en commençant la série suivante. En plaçant la mire ainsi sur un repère, on n'emploie pas la plaque qui sert

de support, mais on met l'éperon directement sur le point tracé au centre du repère.

12) L'ingénieur est obligé de comprendre dans son nivellement les points de repère des chemins de fer qui lui seront indiqués, ainsi que les points trigonométriques qui se trouvent à proximité de la ligne de nivellement, et dont il lui sera fourni le registre; enfin les limnimètres des lacs et des fleuves qu'il rencontre.

§ IV.

Réduction des observations et calcul des résultats.

Comme il a été dit, la réduction des observations a été faite à double dans les observatoires de Neuchâtel et de Genève par nos deux aides, MM. *Schmidt* et *Bruderer*, d'après des formulaires et avec des tables de réduction identiques. Pour chaque coup de niveau, on déterminait d'abord l'inclinaison de la lunette, en prenant la moyenne des deux lectures du niveau, faites avant et après la lecture de la mire, et en retranchant toujours la lecture de la bulle du côté de l'objectif de celle du côté de l'oculaire; l'inclinaison exprimée en parties du niveau est ainsi prise comme positive, lorsque l'oculaire est plus élevé que l'objectif, la correction correspondante devant être dans ce cas positive, puisque l'axe rencontrait la mire dans un point trop bas. Ensuite, le calculateur prenait, d'une part, la différence des lectures de la mire faites aux deux fils extrêmes, et de l'autre, la moyenne des lectures faites aux trois fils. Dans une table à double entrée, dont nous expliquerons tout à l'heure la construction, il trouvait avec l'inclinaison et la distance des fils extrêmes la « correction pour inclinaison, » qu'il inscrivait, avec le signe correspondant de l'inclinaison, à côté de la moyenne des trois fils, et enfin, dans une dernière colonne, il mettait, en appliquant cette correction, la « hau-

teur corrigée [1]. » Après avoir opéré ainsi pour toutes les stations comprises entre deux repères, il faisait d'abord la somme des distances des fils extrêmes, et ensuite celle des « hauteurs corrigées, » d'un côté pour les stations en arrière, et de l'autre pour les stations en avant; puis il prenait les différences de ces sommes, en retranchant toujours celles relatives aux stations en avant de celles relatives aux stations en arrière. Il calculait ensuite les trois erreurs instrumentales, savoir :

1) L'erreur du niveau, que nous avons appelée i, et qui est égale à la moitié de la différence obtenue en retranchant la lecture du niveau faite dans sa position normale, c'est-à-dire les vis de correction étant tournées vers l'oculaire, de la lecture faite dans la position inverse. L'ingénieur ayant fait trois lectures dans chaque position, on prenait la moyenne des trois déterminations.

2) L'inégalité des tourillons, ou l'erreur de parallélisme, que nous avons désignée par p; pour l'obtenir, on retranchait de l'inclinaison accusée par la lunette, lorsqu'elle était retournée bout à bout dans les coussinets, la moyenne des deux inclinaisons observées dans la position normale de la lunette, c'est-à-dire, celle où l'oculaire se trouve du côté de la vis d'élévation; la moitié de cette différence est l'erreur p.

3) La collimation de l'axe optique, désignée par C; pour la déterminer, l'ingénieur avait observé la mire dans des conditions identiques, une première fois dans la position normale de la lunette, c'est-à-dire, celle où la vis micrométrique se trouve en bas, ensuite une seconde fois, après avoir tourné la lunette de 180° autour de son axe, et enfin une troisième fois dans la position normale. Pour calculer la collimation, on

[1] Pour les observations faites avec le premier instrument dans la première campagne, avant qu'il ne fût muni de trois fils, le calculateur inscrivait, à côté de l'évaluation de la position du fil sur la mire, la fraction du centimètre résultant de la mesure micrométrique, pour prendre ensuite la moyenne de la fraction évaluée et de la fraction mesurée. Dans une autre colonne, il inscrivait la valeur d'un centimètre de la mire en parties du micromètre, et à la suite, la distance correspondante de la mire, déduite d'une table qui donne cette distance pour chaque nombre de parties du tambour, dont il a fallu faire mouvoir le fil mobile pour parcourir un centimètre. Une autre table lui faisait connaître la correction qui résultait de l'inclinaison de la lunette, exprimée en parties du niveau, et de la distance à laquelle se trouvait la mire. Il inscrivait cette correction, avec le signe correspondant de l'inclinaison, à côté de la lecture de la mire, et après l'avoir appliquée, il mettait dans la dernière colonne la « hauteur corrigée. »

appliquait d'abord aux moyennes des trois fils la correction pour l'inclinaison et la réduction de la moyenne des trois fils au fil du milieu, puis on retranchait la moyenne des deux lectures, faites dans la position normale, de la lecture faite dans la position inverse. La moitié de cette différence, exprimée en centimètres et divisée par la distance entre la mire et l'instrument, exprimée également en centimètres, donne la tangente de la collimation; l'angle correspondant est alors transformé en parties du niveau, en le divisant par la valeur angulaire d'une partie du niveau. Pour simplifier ce calcul, qui revenait très-souvent, nous l'avons mis sous cette forme : en désignant par δ la demi-différence des deux lectures en centimètres, par c la distance des deux fils extrêmes sur la mire en centimètres, par A l'angle entre les deux fils extrêmes en secondes, par D la distance de la mire en centimètres, par n la valeur angulaire d'une partie du niveau en secondes, par C la collimation, on a :

$$\operatorname{tg} C = \frac{\delta}{D} \text{ et } D = c.\ \operatorname{cotg} A$$

donc

$$\operatorname{tg} C = \frac{\delta}{c}.\ \operatorname{tg} A$$

$$C = \frac{\delta}{c} \cdot \frac{\operatorname{tg} A}{\operatorname{tg} 1''}$$

en secondes, et en parties du niveau

$$C = \frac{\delta}{c} \cdot \left(\frac{\operatorname{tg} A}{\operatorname{tg} 1''} \cdot \frac{1}{n} \right)$$

dans cette expression, le facteur mis entre parenthèses, qui dépend des constantes de l'instrument, se calcule une fois pour toutes; on n'a donc qu'à le multiplier par la fraction $\frac{\delta}{c}$, fournie chaque fois par l'observation, pour avoir la collimation.

Tous ces calculs étaient exécutés par nos aides, en poussant l'approximation au point que le chiffre de la dernière décimale conservée, le centième de centimètre, fût exact, et que les fractions négligées n'alté-

rassent pas ce chiffre d'une unité, même dans la somme entre deux repères. Dans des conférences spéciales, nous confrontions les calculs de nos deux aides, et partout où nous trouvions un désaccord de plus d'une unité de la dernière décimale, nous faisions une vérification du calcul, en recourant au besoin aux observations originales.

Enfin, nous faisions le résumé des calculs dans des tableaux où figuraient d'un côté, dans une partie à gauche, pour tous les coups de niveau donnés en arrière entre deux repères, la somme des hauteurs corrigées, et la somme des quantités que nous avons désignées par c, savoir des intervalles embrassés sur la mire par les fils extrêmes, de cette dernière somme se déduisait la somme correspondante des distances de la mire à l'instrument; puis de l'autre côté, à droite, dans une seconde partie, figuraient les mêmes quantités pour les coups de niveau donnés en avant. Une troisième partie du tableau contenait les différences obtenues, en retranchant toujours les chiffres inscrits dans la seconde partie à droite, des chiffres correspondants inscrits dans la première partie à gauche, ainsi que la somme des erreurs instrumentales $C + p + i$. Il est évident que, tant que ces erreurs restent constantes, il n'est pas nécessaire d'appliquer les corrections, qui en résultent, à chaque coup de niveau individuel, mais qu'il suffit de les appliquer à la différence de la somme des cotes en arrière et en avant, en calculant ces corrections avec la différence des sommes des distances (ou des quantités c), prise dans le même sens. C'est ce que nous avons fait au moyen de la table à double entrée, qui sert également à calculer la correction pour l'inclinaison, puisqu'on peut en effet représenter les erreurs instrumentales comme une inclinaison de la lunette. Enfin, comme la collimation était déterminée pour le fil du milieu, il fallait encore réduire la moyenne des trois fils au fil du milieu, ce qui a été fait également au moyen d'une table spéciale. Après avoir appliqué cette réduction, ainsi que la correction provenant des erreurs instrumentales à la différence des cotes, nous obtenions finalement *la différence de niveau* entre deux repères consécutifs.

Il nous reste encore à rendre compte de la construction des tables dont nous nous sommes servis dans la réduction, ainsi que de la détermination des constantes des instruments. Ces constantes, qu'il s'agit de déterminer pour chaque instrument, sont au nombre de quatre, savoir : 1° la valeur angulaire d'une partie du niveau ; 2° la valeur angulaire d'une partie du tambour de la vis micrométrique ; 3° la réduction angulaire de la moyenne des trois fils au fil du milieu, et 4° la distance angulaire des deux fils extrêmes. Comme nous avions fixé la limite d'exactitude pour la réduction à $0^{cm},01$, il fallait déterminer toutes ces constantes avec une précision telle que, dans les cas extrêmes, c'est-à-dire, pour la plus grande distance de la mire et pour la plus forte inclinaison de la lunette qui pussent se rencontrer, l'incertitude des corrections ne dépassât pas cette limite. En ce qui concerne d'abord la valeur d'une partie du niveau, nous avons déjà dit qu'elle a été déterminée à l'aide du cercle méridien de Neuchâtel ; on fixait le niveau, au moyen d'une monture spéciale, à un des rayons du cercle, qui a trois pieds de diamètre et est divisé de deux en deux minutes, les microscopes donnant au tambour du micromètre la seconde d'arc. Pour examiner d'abord la division, ou la régularité de la courbure des niveaux, on faisait parcourir à la bulle d'air toute l'étendue de la division, trait par trait, en changeant l'inclinaison au moyen de la vis de rappel de l'instrument, et en lisant chaque fois à deux microscopes le déplacement du cercle. Nous avons trouvé les niveaux d'Ertel parfaitement réguliers, sauf de légères différences pour les traits extrêmes, différences dépassant à peine l'erreur d'observation, et entièrement négligeables. Puis on changeait l'inclinaison de l'instrument de façon à faire parcourir à la bulle chaque fois toute l'étendue de la division, et on lisait le déplacement correspondant du cercle à deux microscopes. Comme on mesurait ainsi la valeur d'environ 20 parties du niveau, qui correspondaient à une inclinaison d'une minute environ, que l'on peut déterminer sur le cercle avec une erreur maximum de $0'',9$, pour chaque mesure, on obtenait la valeur d'une division du niveau à $0'',045$ près.

Mais il fallait atteindre une précision d'au moins $\pm 0'',02$; car si X est la correction provenant de l'inclinaison J de la lunette, D la distance de la mire, n la valeur en secondes d'une partie du niveau et r le nombre de ces parties indiquées par le niveau, lorsque l'inclinaison est = J, on a :

$$X = D \times \text{tg. } J = D \times \text{tg. } (n \times r);$$

or, comme d'après les règles posées la valeur maximum de D est 100^m, et la valeur maximum de $r = 5$, comme en outre n était de $3''$ environ, pour les niveaux examinés, on voit que la correction maximum pour l'inclinaison, dans ces cas extrêmes, reste au-dessous de $0^{cm},8$; pour qu'une erreur sur la valeur de n ne produise pas sur cette correction une erreur supérieure à la limite d'exactitude $0^{cm},01$, qui a été admise, il faut que n soit déterminé à $^1/_{80}$ près de sa valeur, soit environ $0'',04$. Pour atteindre cette limite d'exactitude, il aurait donc suffi de faire quatre déterminations; toutefois, il a fallu les multiplier un peu plus, parce que nous nous sommes aperçus que, suivant le degré de force avec laquelle on serrait le niveau dans sa monture, il s'y produisait des tensions qui modifiaient un peu la courbure, et par suite la valeur d'une division. Malgré cette circonstance, nous sommes restés bien au-dessous de la limite indiquée; car nous avons trouvé pour l'instrument I:

$$1^p \text{ du niveau d'Ertel N° } 8687 = 3'',133 \pm 0'',010,$$

et plus tard, le niveau de cet instrument ayant dû être remplacé:

$$1^p \text{ du niveau d'Ertel N° } 9084 = 2'',801 \pm 0'',009;$$

pour l'instrument II:

$$1^p \text{ du niveau d'Ertel N° } 8762 = 3'',387 \pm 0,''006.$$

La valeur du pas de vis des micromètres a été déterminée en plaçant la mire à des distances connues, variant de 10^m à 100^m, et en faisant parcourir au fil mobile un grand nombre de centimètres; le nombre de ces centimètres parcourus, divisé par la distance de la mire exprimée en centimètres, donnait la tangente de l'angle, auquel correspondait le

nombre de tours et centièmes de tour accusé par la vis micrométrique. Nous avons trouvé, de cette manière, pour la valeur d'une partie du tambour :

pour l'instrument I, $1^p = 1'',4087 \pm 0'',0007$
pour l'instrument II, $1^p = 1'',4070 \pm 0'',0006$

L'erreur étant ainsi au-dessous d'un deux-millième, on voit que cette exactitude est plus que suffisante dans le calcul de la distance de la mire; en effet, l'incertitude sur la détermination de cette distance, provenant de l'erreur sur la valeur angulaire d'une partie du micromètre, reste bien au-dessous d'un demi-mètre, même à la distance de 100^m. Pour déterminer la distance angulaire des trois fils de nos lunettes, nous avons également placé la mire à des distances mesurées et variant de 10^m à 100^m, et nous avons, dans chacune de ces positions, noté la position des trois fils sur la mire, en l'évaluant jusqu'à un demi-millimètre près, et en notant l'indication du niveau; pour nous rendre indépendants des erreurs accidentelles de division des mires, nous avons répété un grand nombre de fois cette opération, en changeant chaque fois un peu la hauteur de l'instrument. Nous avons trouvé, de cette manière, pour l'instrument I :

$$A_1 = \text{Fil inférieur} - \text{Fil du milieu} = 207'',3262$$
$$A_2 = \text{Fil du milieu} - \text{Fil supérieur} = 211'',3813$$
$$A = A_1 + A_2 = \text{Fil inférieur} - \text{Fil supérieur} = 418'',7075 \pm 0'',141$$

en outre, il en résulte pour la réduction de la moyenne des trois fils au fil du milieu :

$$\frac{A_2 - A_1}{3} = +1'',3506 \pm 0'',028$$

Dès le début de la campagne de 1866, deux des fils s'étant rompus et ayant dû être remplacés, nous avons trouvé pour le nouveau réticule :

$$A_1 = 198'',204$$
$$A_2 = 210'',769$$
$$A = A_1 + A_2 = \text{Fil inférieur} - \text{Fil supérieur} = 408'',973 \pm 0'',118$$

et pour la réduction de la moyenne des trois fils au fil du milieu :

$$\frac{A_2 - A_1}{3} = +4'',188 \pm 0'',069$$

Enfin, pour l'instrument II, nous avons trouvé :

$$A_1 = 202'',011$$
$$A_2 = 213'',142$$

$$A = A_1 + A_2 = \text{Distance des fils extrêmes} = 415'',153 \pm 0'',083$$

et pour la réduction de la moyenne des trois fils au fil du milieu :

$$\frac{A_2 - A_1}{3} = +3'',710 \pm 0'',060$$

On voit immédiatement que ces déterminations sont plus que suffisamment exactes. En ce qui concerne d'abord la détermination de la distance de la mire, au moyen du nombre de centimètres embrassés sur la mire par les fils extrêmes, si ce nombre est appelé c, on a :

$$D = c \text{ cotg. } A$$

Pour qu'à la distance maximum de 100^m, une erreur sur la valeur de A ne produise pas une erreur d'un demi-mètre, soit $^1/_{200}$ de sa valeur, il suffit que A soit connu également à $^1/_{200}$ près de sa valeur, soit à 2″ près environ, tandis que l'incertitude marquée dans la valeur de A est d'un dixième de seconde à peu près pour les deux instruments. L'incertitude sur la valeur de A étant de $^1/_{4000}$ à peu près pour les deux instruments, on voit qu'elle n'introduit qu'une erreur d'un demi-mètre sur une distance de 2 kilomètres entre deux repères, obtenue par la somme des c dans les coups de niveau consécutifs. Quant à la réduction au fil du milieu, que l'on calcule d'après la formule

$$R = c \text{ cotg. } A \text{ tg. } \frac{A_2 - A_1}{3}$$

on voit que, même pour $c = 20$, c'est-à-dire pour une distance de 100^m, elle n'est que de $0^{cm},20$; donc, pour l'avoir à $\pm 0^{cm},01$ près, il suffirait

de connaître $\frac{A_2 - A_1}{3}$ à un vingtième de sa valeur près, et l'erreur n'est qu'un soixantième de cette quantité.

Enfin, pour la correction de la lecture des mires, soit à cause de l'inclinaison, soit à cause des erreurs instrumentales, qui s'obtient par la formule

$$X = I \times c \text{ cotang. } A \times \text{ tang. } 1''$$

dans laquelle I représente, soit l'inclinaison de la lunette, soit la somme des corrections instrumentales, $C + p + i$, les cas extrêmes qui peuvent se présenter sont : une valeur de I, ou de $C+p+i, = 20''$, et de $c \times$ cotg. A, ou de la distance, égale à 100 mètres. Dans ce cas, la valeur de X reste encore au-dessous d'un centimètre, et pour que l'incertitude sur la valeur de A ne produise pas une erreur de $0^{cm},01$ soit d'un centième de la valeur de X, il suffit que A soit connu à $^1/_{100}$ près de sa valeur, tandis que l'erreur sur sa détermination est au-dessous de $^1/_{4000}$.

On voit donc, que toutes les constantes ont été déterminées avec une précision plus que suffisante.

Quant aux tables de réduction, la première est destinée à donner la distance D de la mire avec l'argument c, c'est-à-dire le nombre de centimètres embrassés sur la mire par les fils extrêmes, d'après la formule $D = c$ cotg. A, qui devient, exprimée en nombres,

pour l'instrument I, ancien réticule.	$D = c \times 4^m,926$
» » nouveau réticule	$D = c \times 5^m,043$
pour l'instrument II	$D = c \times 4^m,968$

Dans ces tables, l'argument va de dixième en dixième de centimètre depuis $0^{cm},1$ à $30^{cm},0$; ensuite de centimètre en centimètre depuis 30^{cm} à 100^{cm}; de dix en dix centimètres depuis 100^{cm} à 500^{cm}, et enfin de 100 en 100^{cm} jusqu'à $c = 1000^{cm}$. Les distances sont données au dixième de mètre près [1].

[1] Nous avons déjà expliqué que, pour le premier instrument, on avait eu une table analogue dans laquelle l'argument était le nombre des parties du micromètre, dont il fallait faire tourner la vis micrométrique pour que le fil mobile parcourût un centimètre sur la mire.

La seconde table donne la réduction de la moyenne des trois fils au fil du milieu, d'après la formule $R = c \text{ cotg. } A \text{ tg.} \left(\frac{A_2 - A_1}{3}\right)$; avec les valeurs des constantes A, A_1, A_2, données plus haut pour les deux instruments, la réduction R, exprimée en centièmes de centimètre, sera pour chaque valeur de c :

pour l'instrument I, ancien réticule	$R = c \times 0{,}323$
» » nouveau réticule	$R = c \times 1{,}023$
pour l'instrument II	$R = c \times 0{,}894$

L'argument c, dans cette table, va de centimètre en centimètre depuis $c = 1^{cm}$ jusqu'à $c = 30^{cm}$, et la réduction est exprimée en centièmes de centimètre. Elle est, pour les deux instruments, positive dans la position normale de la lunette.

La troisième table, à double entrée, donne la correction à appliquer aux lectures de la mire, soit à cause de l'inclinaison, soit à cause des erreurs instrumentales, d'après la formule $X = I \times c \text{ cotg. } A \times \text{tg. } 1''$, dans laquelle I représente, soit l'inclinaison, soit la somme des erreurs instrumentales; si on exprime I en parties P du niveau, la correction X, exprimée en centièmes de centimètre, devient

pour l'instrument I, ancien réticule.	$X = c \times P \times 0{,}74833$
» » nouveau réticule et nouveau niveau.	$X = c \times P \times 0{,}68484$
pour l'instrument II	$X = c \times P \times 0{,}81613$

L'argument c va de centimètre en centimètre depuis $c = 1^{cm}$ jusqu'à $c = 30^{cm}$; et l'autre argument P va de demi-dixième en demi-dixième d'une partie du niveau, depuis $P = 0{,}05$ jusqu'à $P = 10{,}00$[1].

Il nous reste encore une explication à donner sur la réduction à l'horizon vrai, pour tenir compte de la dépression sphérique et de la réfraction. Nous avons négligé complétement cette correction, et nous allons

[1] Pour le premier instrument, dans la première campagne, nous avions une table qui donnait cette correction avec l'argument de la distance de la mire, tirée de la première table d'après le nombre des parties du micromètre embrassées par un centimètre de la mire.

montrer qu'avec la méthode d'opération, que nous avons suivie, nous pouvions en faire abstraction. On sait que si

D est la distance de la mire,

r le rayon de la Terre, et

k la constante de réfraction,

on a pour la réduction à l'horizon vrai :

$$y = (1 - 2k)\frac{D^2}{2r}$$

et si l'on met $r = 6\,366\,000^m$,

et, d'après Gauss, $k = 0{,}0653$,

on obtient :

$$y = 0^{mm}{,}000068284 \times D^2$$

Dans le cas, où l'instrument n'aurait pas été placé exactement à la même distance de la mire dans la station en arrière, et dans celle en avant, si la différence des deux distances de la mire est δ, tandis que la plus petite des deux est appelée d, on a, pour calculer la valeur de cette réduction sur la différence de niveau des deux stations, l'expression

$$y = 0^{mm}{,}000068284\,(\delta^2 + 2d\delta)$$

d'après laquelle on peut dresser la table suivante :

δ	Correction en millimètres pour les valeurs suivantes de d.									
	10^m	20^m	30^m	40^m	50^m	60^m	70^m	80^m	90^m	100^m
1^m	0,001	0,003	0,004	0,005	0,007	0,008	0,010	0,011	0,012	0,014
2^m	0,003	0,006	0,008	0,011	0,014	0,017	0,019	0,022	0,025	0,028
3^m	0,005	0,009	0,013	0,017	0,021	0,025	0,029	0,034	0,038	0.042
4^m	0,007	0,012	0,017	0,023	0,028	0,033	0,039	0,045	0,050	0,056
5^m	0,009	0,015	0,022	0,029	0,036	0,043	0,050	0,056	0,063	0,070
6^m	0,011	0,019	0,027	0,035	0,043	0,051	0,059	0,068	0,076	0,085
7^m	0,013	0,022	0,032	0,041	0,051	0,060	0,069	0,080	0,089	0,099
8^m	0,015	0,026	0,037	0,048	0,059	0,069	0,080	0,092	0,102	0,113
9^m	0,018	0,030	0,042	0,054	0,067	0,079	0,091	0,104	0,116	0,128
10^m	0,020	0,034	0,048	0,061	0,075	0,089	0,102	0,116	0,130	0,143
20^m	0,055	0,082	0,109	0,136	0,163	0,191	0,218	0,245	0,273	0,300
30^m	0,102	0,143	0,184	0,225	0,266	0,307	0,348	0,389	0,430	0,471

On voit donc que, pour que la correction reste au-dessous de notre limite d'exactitude, c'est-à-dire au-dessous de $0^{cm},01$ ou bien de $0^{mm},1$, il faut que pour les valeurs suivantes de d :

$$10^m,\ 20^m,\ 30^m,\ 40^m,\ 50^m,\ 60^m,\ 70^m,\ 80^m,\ 90^m,\ 100^m,$$

la différence δ reste au-dessous de :

$$30^m,\ 23^m,\ 19^m,\ 15^m,\ 13^m,\ 11^m,\ 10^m,\ 9^m,\ 8^m,\ 7^m.$$

Or, la distance moyenne, à laquelle la mire est placée dans nos opérations, est au-dessous de 50^m ; elle va rarement à 70^m et ne dépasse presque jamais 80^m, et le règlement prescrit que la différence des deux distances, en avant et en arrière, ne doit pas atteindre 10^m, limite qui, en effet, n'a presque jamais été atteinte. On voit ainsi que, pour nos opérations, la réduction à l'horizon vrai peut être négligée.

Il en est de même, quant à l'influence que pourrait avoir sur nos résultats une variation de la réfraction, suivant la direction dans laquelle la mire peut être placée, en arrière ou en avant, car on a pour la correction due à la réfraction seule :

$$y' = \frac{k}{r} D^2$$

ce qui donne pour

$$D = 50^m \ldots\ldots\ldots \quad y' = 0^{mm},025$$

et pour

$$D = 100^m \ldots\ldots\ldots \quad y' = 0^{mm},1$$

On voit donc qu'un changement de la réfraction, même entre les limites extrêmes qu'il peut présenter, resterait sans influence sensible sur nos opérations.

Nous avons ainsi rendu compte de toutes les réductions au moyen desquelles nous avons établi les différences de niveau entre deux repères consécutifs. Le système polygonal, que nous avons suivi, exige en outre de distribuer, d'après la méthode des moindres carrés, les erreurs de clôture des différents polygones sur les lignes de nivellement qui les forment. Mais il est évident que cette répartition des erreurs ne peut se faire

d'une manière rationnelle et définitive, que lorsque tout le réseau sera terminé. Pour cette raison, nous donnons pour le moment les différences de niveau, telles qu'elles ont été obtenues directement, et nous nous réservons de procéder, à la fin du travail, à la répartition des erreurs pour établir les cotes définitives de tous nos repères. Celles-ci seront rapportées au plan général de comparaison, et les repères rangés par ordre alphabétique. Par suite de l'extrême petitesse des erreurs de clôture de nos polygones, ces cotes définitives ne différeront du reste que de quelques millimètres de celles qu'on peut déduire des différences de niveau dont nous commençons la publication; on pourra, de cette façon, utiliser dès à présent les nombreuses données que nous avons obtenues.

Nous espérons pouvoir publier chaque année une nouvelle livraison contenant les résultats de la campagne précédente, et terminer tout le travail dans peu d'années.

§ V.

Résultats des opérations de nivellement exécutées dans les années 1865 et 1866.

Les tableaux suivants renferment les résultats des opérations exécutées, dans les deux premières campagnes, sur les lignes pour lesquelles on avait obtenu un contrôle et une garantie suffisante d'exactitude, soit par la clôture d'un polygone, soit par la répétition du nivellement. Ainsi qu'il a été dit précédemment, ce contrôle n'ayant pas encore été obtenu pour quelques-unes des lignes nivelées dans les deux premières années, la publication du résultat pour ces lignes est renvoyée à une livraison suivante.

Ces tableaux renferment, dans la première colonne, l'indication des deux repères, dont la distance se trouve dans la seconde colonne, et la différence de niveau dans la troisième colonne.

Lorsque l'opération a été faite deux fois, ou même trois fois comme dans quelques cas, sur la même ligne, le résultat de chaque opération est indiqué, ainsi que la moyenne. Une dernière colonne est consacrée à la désignation de chaque repère. La différence de niveau, dans ces tableaux, est donnée au millimètre près, et l'on a arrondi au millimètre le plus rapproché le chiffre obtenu directement par le calcul, dans lequel le dixième de millimètre avait été conservé, ainsi qu'il a été dit; en opérant ainsi, on a eu soin, comme de juste, que pour la différence de niveau entre deux repères principaux, la somme des différences de niveau pour les repères intermédiaires donnât pour le millimètre le même chiffre que celui qui était obtenu en tenant compte des fractions de millimètre. D'un repère principal à l'autre, le résultat de l'opération est résumé, soit pour la distance, soit pour la différence de niveau; enfin, à la suite de la dernière section qui termine un polygone, se trouve le résumé de ce polygone, ainsi que l'erreur de clôture. A la suite de ces tableaux, se trouve le résumé de l'erreur qui peut être attribuée à l'opération sur chaque section, et qui est déduite soit d'un nivellement double, soit de l'erreur de clôture d'un polygone; on peut apprécier ainsi l'exactitude des résultats.

Nivellement de Genève (Pierre du Niton) à Coppet, Nyon, Rolle et Morges.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre. 1re opération Schönholzer 1865	2me opération Benz 1866	3me opération de contrôle Schönholzer 1866	Moyenne [1].	Désignation des repères.
			De Genève à Coppet.			
RL — RPN	m 416	m +1,466	m +1,467	m +1,468	m +1,467	RPN *r* en bronze scellé sur le sommet de la Pierre du Niton.
			+1,467			RL *r* en bronze scellé sur le socle de la colonne du nouveau limnimètre.
⊙ 1 — RL	1,079	—1,627	—1,632		—1,629	⊙1 *r* sur une borne, à l'extrémité du quai des Pâquis.
⊙ 3 — ⊙ 1	698	(+0,275)	+0,286	+0,286	+0,286	⊙3 *r* sur le socle du portail de la campagne Plantamour, aux Pâquis.
⊙ 4 — ⊙ 3	2,915	+4,224	+4,224		+4,224	⊙4 *r* sur une coulisse, à l'embranchement de la route de Chambésy.
⊙ 5 — ⊙ 4	2,290	(+5,685)	+5,702	+5,708	+5,705	⊙5 *r* sur une coulisse à droite de la route, à égale distance des bornes kilométriques nos 5 et 6.
⊙ 6 — ⊙ 5	1,601	(—1,444)	—1,431	—1,431	—1,431	⊙6 *r* sur une coulisse, à l'embranchement de la route de Fernex, près de l'entrée de Versoix.
⊙ 7 — ⊙ 6	1,872	+6,981	+6,990		+6,985	⊙7 *r* sur la borne kilométrique n° 9.
⊙ 8 — ⊙ 7	1,742	—4,763	—4,760		—4,761	⊙8 *r* sur le socle du portail de la campagne du comte de Pourtalès, aux Crénées.
RNF11 — ⊙ 8	1,926	—7,220	—7,222		—7,221	RNF n° 11. *r* en bronze scellé sur le mur à l'angle du poste de gendarmerie à Coppet.
RNF11 — RPN	14,539	+3,625	+3,624		+3,625	
			De Coppet à Nyon.			
⊙ 9 — RNF11	2,739	—0,556	—0,558		—0,557	⊙ 9 *r* sur une borne, à droite de la route, en face de l'avenue de Bossey.
⊙11 — ⊙ 9	1,892	+1,578	+1,573		+1,576	⊙11 *r* sur le parapet du pont, près de la borne portant l'indication « 8 lieues de Lausanne. »
⊙12 — ⊙11	1,838	+5,920	+5,934	+5,942	+5,932	⊙12 *r* sur une borne, à droite de la route, près de l'entrée de la campagne Colovray.
⊙13 — ⊙12	1,666	(—6,420)	—6,440	—6,442	—6,441	⊙13 *r* sur un banc en pierre, sous les trois accacias, à l'entrée de la ville de Nyon.
RNF12 — ⊙12	1,583	—2,786	—2,787		—2,787	RNF n° 12 *r* en bronze scellé sur le mur du jardin de M. Dudan (ancienne douane), à Nyon.
RNF12 — RNF11	8,718	—2,275	—2,278		—2,277	

[1] Les données mises entre parenthèses ont été laissées de côté dans la formation des moyennes, la vérification obtenue par la troisième opération de contrôle, exécutée sur les sections douteuses, ayant montré laquelle des deux premières opérations avait donné un résultat erroné. Dans ce cas, c'est le résultat obtenu dans cette opération de contrôle que l'on a substitué à celui qui devait être considéré comme étant moins exact, puisqu'il s'écartait notablement des deux autres. Pour deux sections, savoir ⊙12—⊙11 et ⊙35—RNF12, pour lesquelles l'élimination du résultat de l'une des deux premières opérations était moins clairement indiquée, on a pris dans la moyenne, comme résultat de la première opération, la moyenne de la première et de la troisième.

Nivellement de Genève (Pierre du Niton) à Coppet, Nyon, Rolle et Morges.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre. 1re opération Schönholzer 1865	2me opération Benz 1866	3me opération de contrôle Schönholzer 1866	Moyenne.	Désignation des repères.
			De Nyon à Rolle.			
⊙35—RNF12	m 3,431	m +20,157	m +20,148	m +20,159	m +20,153	⊙35 *r* sur une borne située à gauche, à l'extrémité du pont sur la Promenthouse.
⊙37 — ⊙35	3,075	-10,475	-10,472		-10,473	⊙37 *r* sur une borne située à gauche, à l'entrée du pont entre la Lignière et le château de Dullit.
⊙38 — ⊙37	1,240	+ 6,511	+ 6,508		+ 6,509	⊙38 *r* sur une borne à droite de la route, en face du clocher de Bursinel.
⊙40 — ⊙38	3,154	(-12,274)	-12,251	-12,258	-12,254	⊙40 *r* sur le seuil de la porte de la seconde maison à droite, en entrant dans la ville de Rolle.
RNF14—⊙40	456	- 3,764	- 3,765		- 3,765	RNF nº 14 *r* en bronze scellé sur la marche supérieure de l'obélisque, dans l'île Laharpe, à Rolle.
RNF14—RNF12	11,356	+ 0,172	+ 0,168		+ 0,170	
			De Rolle à Morges.			
⊙41—RNF14	829	+ 5,837	+ 5,837		+ 5,837	⊙41 *r* sur le parapet du pont en sortant de la ville de Rolle, près de la borne portant « 5 lieues de Lausanne. »
⊙44 — ⊙41	5,345	(+15,251)	+15,229	+15,231	+15,230	⊙44 *r* sur le parapet du pont sur l'Aubonne.
⊙47 — ⊙44	2,356	+12,989	+12,996		+12,992	⊙47 *r* sur une borne du chemin de fer, placée au point culminant entre Allaman et St-Prex.
⊙49 — ⊙47	3,872	-28,778	(-28,797)	-28,779	-28,778	⊙49 *r* sur le parapet du pont sur le Boiron, extrémité droite.
⊙50 — ⊙49	2,076	(- 4,676)	- 4,686	- 4,685	- 4,686	⊙50 *r* sur le parapet du pont sur la Morges, extrémité droite.
⊙51 — ⊙50	227	- 1,924	- 1,924		- 1,924	⊙51 *r* sur une pierre, au-dessous de l'ancien repère cantonal à l'angle de la douane de Morges ; l'ancien repère cantonal est élevé de 0m,383 au-dessus du repère ⊙51.
RNF15—⊙51	512	+ 1,830	+ 1,831		+ 1,831	RNF nº 15 *r* en bronze scellé sur le soubassement à droite de la porte d'entrée de l'église de Morges.
RNF15—RNF14	15,217	+ 0,500	+ 0,504		+ 0,502	
RNF15—RPN	49,830	+ 2,022	+ 2,018		+ 2,020	

Récapitulation du nivellement de Genève à Morges.

	Distance.	Différence de niveau	Erreur de chaque opération.
	km	m	m
Coppet RNF nº 11 — Genève RPN.....	44,539	+3,625	±0,000.5
Nyon RNF nº 12 — Coppet RNF nº 11....	8,718	—2,277	0,001.5
Rolle RNF nº 14 — Nyon RNF nº 12....	11,356	+0,170	0,002
Morges RNF nº 15 — Rolle RNF nº 14....	15,217	+0,502	0,002
Morges RNF nº 15 — Genève RPN.....	49,830	+2,020	±0,002

Détermination de quelques repères intermédiaires sur la ligne de Genève à Morges.

NB. Ces repères n'ont été déterminés que dans l'une, ou dans l'autre des opérations, et ils ne peuvent ainsi figurer dans le tableau comparatif des résultats obtenus d'un repère à l'autre dans les différentes opérations.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			Entre Genève et Coppet.
⊙ 2 — ⊙ 1	m 353	m + 1,293	⊙2 *r* entre ⊙1 et ⊙3 sur le seuil de la porte du jardin, à droite, au bout de la rue des Pâquis.
⊙ 4a— ⊙ 5	1,210	— 5,747	⊙4a *r* entre ⊙4 et ⊙5 sur le seuil d'une porte grillée, à gauche de la route, et à 80 mètres d'un poteau indicateur.
⊙ 4b— ⊙ 5	896	— 7,182	⊙4b *r* entre ⊙4 et ⊙5 sur une borne, à Bellevue.
⊙ 6a— ⊙ 7	754	— 5,316	⊙6a *r* entre ⊙6 et ⊙7 sur l'encadrement en pierre du poids public à Versoix
⊙ 7a— ⊙ 7	602	— 3,921	⊙7a *r* entre ⊙7 et ⊙8 sur la borne indiquant la limite des cantons de Vaud et de Genève.
			Entre Coppet et Nyon.
⊙10 — ⊙11	134	— 1,689	⊙10 *r* entre ⊙9 et ⊙11 sur une coulisse, à gauche de la route, à 65m en deçà de la borne-limite entre Céligny et Nyon.
			Entre Nyon et Rolle.
⊙35b—RNF12	290	+ 0,594	⊙35b *r* entre NF12 et ⊙35 sur une coulisse, à l'embranchement de la route de Saint-Cergues.
⊙ C —RNF12	1,382	+ 9,651	⊙ C *r* entre NF12 et ⊙35 sur l'indicateur des lieues (7 lieues de Lausanne).
⊙34 —RNF12	1,526	+ 8,393	⊙34 *r* entre NF12 et ⊙35 sur un mur à droite de la route, en face du château de Prangins.
⊙35a— ⊙ 35	1,343	— 7,445	⊙35a *r* entre NF12 et ⊙35 sur une coulisse, à droite de la route.
⊙ α — ⊙ 35	1,330	+ 2,505	⊙ α *r* entre ⊙35 et ⊙37 sur une coulisse, à gauche de la route, à la première croisée des chemins après la campagne de la Bergerie.
⊙36 — ⊙ 35	1,331	+ 2,380	⊙36 *r* entre ⊙35 et ⊙37 sur une coulisse à droite de la route, presque en face du précédent.
⊙39 — ⊙ 38	1,380	—14,037	⊙39 *r* entre ⊙38 et ⊙40 sur une coulisse à gauche de la route.
⊙40a— ⊙ 40	1,089	+ 1,035	⊙40a *r* entre ⊙38 et ⊙40 sur une coulisse, à l'embranchement d'un chemin à gauche, à 1/4 lieue de Rolle.
⊙41a—RNF14	215	+ 0,062	⊙41a *r* sur le seuil de la porte d'entrée de l'hôtel de la « Tête noire » à Rolle.
			Entre Rolle et Morges.
⊙42 — ⊙ 41	1,406	— 0,023	⊙42 *r* entre ⊙41 et ⊙44 sur une coulisse, à gauche de la route.
⊙43a— ⊙ 44	1,014	+ 3,143	⊙43a *r* entre ⊙41 et ⊙44 sur la première marche du perron de la maison N° 9, à Allaman, en face du château.
⊙43 — ⊙ 44	1,011	+ 4,143	⊙43 *r* entre ⊙41 ⊙44 sur le socle du portail du château d'Allaman.
⊙45 — ⊙ 44	220	+12,015	⊙45 *r* entre ⊙44 et ⊙47 sur la dernière d'une rangée de bornes, à droite de la route.
⊙46 — ⊙ 47	344	— 6,026	⊙46 *r* entre ⊙44 et ⊙47 sur le parapet du pont du ruisseau des « Riaux, » à gauche de la route ; ce repère est celui qui est désigné par le N° 12, par M. Michel, dans son hypsométrie du bassin du Léman.
⊙48 — ⊙ 47	2,055	—24,034	⊙48 *r* entre ⊙47 et ⊙49 sur le seuil de la porte de la 1re maison, à droite de la route, au delà de l'église de Saint-Prex.
⊙ α — ⊙ 49	485	+ 5,515	⊙α *r* entre ⊙49 et ⊙50 sur une borne à l'entrée de la campagne « La Caroline. »

Nivellement de Morges à Cossonay, Yverdon, Bevaix, Auvernier et Neuchâtel.

Exécuté en septembre et octobre 1865 par M. Schönholzer, sauf la section Bevaix-Auvernier par M. Benz.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Morges à Cossonay.
⊙52 — NF15	m 564	m + 4,496	NF N° 15 *r* en bronze scellé sur le soubassement à droite de la porte d'entrée de l'église de Morges.
			⊙52[1] *r* sur la coulisse du passage à niveau du chemin de fer, à droite de la route.
⊙53 — ⊙52	1,058	+37,995	⊙53 *r* sur une borne de délimitation entre les communes de Morges et Echichens, à droite de la route.
⊙54 — ⊙53	1,905	+31,099	⊙54 *r* sur une borne à droite de la route.
⊙55 — ⊙54	1,474	—12,416	⊙55 *r* sur le parapet, côté gauche, du pont entre les villages de Bremblens et de Romanel.
⊙56 — ⊙55	616	+17,611	⊙56 *r* sur la première marche du perron de la maison communale à Romanel.
⊙57 — ⊙56	1,570	+ 8,863	⊙57 *r* sur le seuil de la porte de l'église d'Aclens.
⊙58 — ⊙57	1,069	—19,404	⊙58 *r* sur le parapet, côté gauche, du pont sur la Senoge entre Aclens et Gollion.
⊙59 — ⊙58	397	+22,539	⊙59 *r* sur une borne au bord du fossé, à gauche de la route.
⊙60 — ⊙59	812	+37,684	⊙60 *r* sur une borne à l'angle de la dernière maison de Gollion, à gauche de la route.
⊙61 — ⊙60	210	+ 1,503	⊙61 *r* sur une coulisse à droite de la route, au delà de Gollion.
⊙62 — ⊙61	730	+15,186	⊙62 *r* sur le parapet, côté gauche, du pont entre Gollion et Allens.
⊙63 — ⊙62	590	+22,458	⊙63 *r* sur une borne dans le village d'Allens, à gauche de la route, à la croisée du chemin qui conduit au bas du village.
⊙64 — ⊙63	1,056	+27,630	⊙64 *r* sur le socle du portail d'un verger, à droite de la route, un peu avant Cossonay.
⊙65 — ⊙64	649	— 8,327	⊙65 *r* sur la première marche du perron de l'église de Cossonay, en face de la porte.
⊙65 — NF15	12,700	+186,917	
			De Cossonay à La Sarraz.
⊙66 — ⊙65	814	+ 2,383	⊙66 *r* sur une borne, au bord de la haie, à gauche de la route, un peu au delà du cimetière de Cossonay.
⊙67 — ⊙66	914	+ 5,739	⊙67 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙68 — ⊙67	1,542	—52,383	⊙68 *r* sur une coulisse, à gauche de la route.
⊙69 — ⊙68	1,416	—49,633	⊙69 *r* sur le parapet du pont sur la Venoge, près de La Sarraz.
⊙70 — ⊙69	819	+30,446	⊙70 *r* sur le seuil de la porte de l'église de La Sarraz.
⊙70 — ⊙65	5,505	—63,448	

[1] La hauteur des rails, au passage à niveau, et de + 0,m037 plus élevée que le repère ⊙52 ; d'ou rails — NF 15 = + 5m,533.

Nivellement de Morges à Cossonay, Yverdon, Bevaix, Auvernier et Neuchâtel.

Exécuté en septembre et octobre 1865 par M. Schönholzer, sauf la section Bevaix-Auvernier, par M. Benz.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De La Sarraz à Chavornay.
⊙72 — ⊙70	m 1,241	m 25,336	⊙72[1] *r* sur une coulisse, à droite de la route, un peu avant l'entrée du village d'Orny.
⊙73 — ⊙72	494	— 3,706	⊙73 *r* sur le seuil de la porte de l'église d'Orny.
⊙74 — ⊙73	2,150	—25,831	⊙74 *r* sur une borne, à droite de la route, en face de l'hôtel d'Entreroches.
⊙75 — ⊙74	1,656	+ 0,184	⊙75 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙76 — ⊙75	1,580	+ 3,854	⊙76 *r* sur la première marche du perron de la dernière maison du village de Bavois, à gauche de la route.
⊙77 — ⊙76	2,035	+ 5,038	⊙77 *r* sur la deuxième marche de l'entrée du jardin, à droite de la route, entre les auberges de «l'Ecu vaudois,» et de la «Croix blanche,» à Chavornay.
⊙78 — ⊙77	602	— 5,865	⊙78 *r* sur l'angle Sud-Est du socle du hangar des marchandises, à la gare de Chavornay.
⊙78 — ⊙70	9,758	—51,662	
			De Chavornay à Yverdon.
⊙79 — ⊙78	1,104	— 2,999	⊙79 *r* sur une coulisse, à droite de la route.
⊙80 — ⊙79	2,884	+ 8,258	⊙80 *r* sur une coulisse, à droite de la route.
⊙81 — ⊙80	1,701	— 4,116	⊙81 *r* sur le parapet, à l'angle à droite, du pont dans le village d'Ependes.
⊙82 — ⊙81	2,752	— 3,444	⊙82 *r* sur une borne, à gauche de la route, à la croisée des routes qui se dirigent sur Lausanne et sur Cossonay.
⊙83 — ⊙82	1,634	— 6,792	⊙83[2] *r* sur une borne, à droite de la route, en face de la campagne de Vermont.
NF16 — ⊙83	1,785	— 2,725	NF N° 16 *r* en bronze scellé sur le perron de l'église d'Yverdon, au-dessous de la fenêtre à gauche.
NF16 — ⊙78	11,860	-11,818	
NF16 — NF15	39,823	+59,989	

[1] Entre les repères ⊙70 et ⊙72, se trouve un repère ⊙71, à une distance de 635^m de ce dernier; ⊙71 — ⊙72 = +9^m,483; *r* ⊙71 sur une nouvelle borne de délimitation, à la sortie du canal de l'étang, en face du « moulin Bornu. »

[2] Entre les repères ⊙83 et NF16, devant les bains d'Yverdon, se trouve un repère ⊙84 sur le socle de l'indicateur des routes de Lausanne et de Moudon ; la différence de niveau ⊙84 — ⊙83 = +1^m,082, distance 595^m.

Nivellement de Morges à Cossonay, Yverdon, Bevaix, Auvernier et Neuchâtel.

Exécuté en septembre et octobre 1865, par M. Schönholzer, sauf la section Bevaix-Auvernier, par M. Benz.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			D'Yverdon à Bevaix.
	m	m	
⊙85 — NF16	2,590	— 1,379	⊙85 *r* sur une coulisse à gauche de la route, près des tuileries de Grandson.
⊙86 — ⊙85	1,988	+ 1,254	⊙86 *r* sur le socle de la tourelle du château de Grandson, sous la voûte à droite de la ligne du chemin de fer.
⊙87 — ⊙86	1,381	— 0,290	⊙87 *r* sur le deuxième pont avant la guérite de Corcellettes, à droite de la ligne.
⊙88 — ⊙87	858	— 1,141	⊙88 *r* sur une borne du chemin de fer, à droite de la ligne.
⊙89 — ⊙88	4,013	+ 0,631	⊙89 *r* sur un ancien mur à droite de la ligne.
⊙90 — ⊙89	1,048	+ 4,470	⊙90 *r* sur une borne à l'angle de la maison communale de Concise, à gauche de la route.
⊙91 — ⊙90	2,288	+ 0,157	⊙91 *r* sur un rocher, à droite de la ligne du chemin de fer.
⊙92 — ⊙91	1,407	+12,139	⊙92 *r* sur un rocher, à gauche de la ligne, en face de la gare de Vaumarcus.
⊙93 — ⊙92	1,233	— 4,223	⊙93 *r* sur une coulisse, à gauche de la ligne, au passage à niveau de la route qui mène à Vaumarcus.
⊙94 — ⊙93	2,709	+ 4,064	⊙94 *r* sur le quai, à droite de la ligne, dans la gare de Gorgier-Saint-Aubin, devant la pendule.
⊙95 — ⊙94	1,351	+11,180	⊙95 *r* sur un rocher, à gauche de la ligne.
⊙96 — ⊙95	3,060	+28,572	⊙96 *r* sur le premier pont de la ligne du chemin de fer, côté droit, en sortant de la gare de Bevaix.
⊙96 — NF16	23,926	+55,434	
			De Bevaix à Auvernier (par M. Benz).
⊙ 4 — ⊙96	3,258	+ 3,283	⊙ 4 *r* sur l'arc boutant de la dernière arche, rive droite en aval, du pont du chemin de fer sur l'Areuse, près de Boudry.
⊙ 3 — ⊙ 4	567	— 2,632	⊙ 3 *r* sur le socle du disque des signaux à la gare de Boudry.
⊙ 2 — ⊙ 3	2,710	+ 3,106	⊙ 2 *r* sur une borne au bord de la ligne.
⊙ 1 — ⊙ 2	772	+ 0,966	⊙ 1 *r* sur une coulisse, à gauche de la ligne.
NF10 — ⊙ 1	546	— 2,685	NF N° 10 *r* en bronze scellé sur un bassin de fontaine, à la gare d'Auvernier, à gauche de la ligne.
NF10 — ⊙96	7,853	+ 2,038	
			D'Auvernier à Neuchâtel (Gare).
⊙12 — NF10	223	— 0,790	⊙12 *r* sur une coulisse, près du passage à niveau, en dehors de la gare d'Auvernier.
⊙11 — ⊙12	2,469	—15,909	⊙11 *r* sur une borne, au passage à niveau de la route de Peseux.
⊙10 — ⊙11	1,821	+ 2,186	⊙10 *r* sur une dalle, à droite de la ligne, à la traversée de la rue « Saint-Jean » sous le chemin de fer.
⊙ 3 — ⊙10	345	+ 0,865	⊙ 3 *r* sur une borne, au passage à niveau avant d'entrer dans la gare de Neuchâtel.
⊙ 3 — NF10	4,858	—13,648	
⊙ 3 — NF16	36.637	+43,824	

Nivellement de raccordement entre différents points dans les environs de Neuchâtel,

par MM. Schönholzer et Benz 1865 et 1866.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau. 1re opération Schönholzer.	2me opération Schönholzer.	Moyenne.	Désignation des repères.
Polygone de la gare de Neuchâtel — Môle — Observatoire — Gare.					
⊙ 4 — ⊙ 3	m 488	m —31,656	m —31,658	m —31,657	⊙ 3 *r* sur une borne, au passage à niveau, avant d'entrer dans la gare de Neuchâtel. ⊙ 4 *r* sur le bahut supportant la grille autour du bâtiment de l'école, en face de la fabrique des télégraphes.
NF 1 — ⊙ 4	432	—13,179	—13,180	—13,179	NF N° 1 *r* en bronze scellé sur le socle de la colonne limnimétrique, môle de Neuchâtel.
⊙ 6 — NF 1	1,258	+ 3,614	+ 3,614	+ 3,614	⊙ 6 *r* sur la première marche de la petite porte d'entrée (à l'Est) de l'hôpital Pourtalès, la seconde opération est de M. Benz.
⊙ 1 — ⊙ 6	971	+48,260		+48,260	⊙ 1 *r* sur le seuil de la porte d'entrée de l'Observatoire, face Nord.
NF 2 — ⊙ 1	1,431	— 5,913		— 5,913	NF N° 2 *r* en bronze scellé dans le rocher, à l'extrémité Nord-Est de la gare.
⊙ 3 — NF 2	345	— 1,124	— 1,124	— 1,124	
⊙ 3 — ⊙ 3	4,925			+ 0,001	Le polygone ferme à un millimètre près.
Nivellement du Môle de Neuchâtel à Saint-Blaise, 1re opération M. Schönholzer, 2me opération M. Benz.					
⊙ 6 — NF 1	1,258	+ 3,614	+ 3,614	+ 3,614	NF N° 1 repère en bronze scellé sur le socle de la colonne limnimétrique, môle de Neuchâtel. ⊙ 6 *r* sur le seuil de la petite porte d'entrée, à l'Est, de l'hôpital Pourtalès.
⊙ 1 — ⊙ 6	464	+ 5,301	+ 5,305	+ 5,303	⊙ 1 *r* sur la marche inférieure d'un escalier, à gauche de la route, à Monruz.
⊙ 2 — ⊙ 1	1,410	— 4,164	— 4,167	— 4,166	⊙ 2 *r* sur une borne à droite de la route, en face du cabaret « Pinte à la pêche. »
⊙ 3 — ⊙ 2	2,113	— 3,222	— 3,222	— 3,222	⊙ 3 *r* sur une borne servant d'indicateur des routes, à l'entrée de Saint-Blaise.
⊙ 3 — NF 1	5,245	+ 1,529	+ 1,530	+ 1,529	± 0,000.5
Nivellement de la gare de Neuchâtel à Pierrabot, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et du Chaumont ; les deux opérations par M. Schönholzer.					
⊙7a — ⊙ 3	768	+50,230	+50,232	+50,231	⊙ 3 *r* sur une borne, au passage à niveau, avant d'entrer dans la gare de Neuchâtel.
⊙51 — ⊙7a	1,388	+94,375	+94,371	+94,373	⊙7a *r* ⊙51 *r* sur une borne, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et du Chaumont.
⊙51 — ⊙ 3	2,156	+144,605	+144,603	+144,604	± 0,001

Nivellement de Pierrabot, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et de Valengin.

(Cette section a été nivelée deux fois en 1865 par M. Benz, la troisième opération a été exécutée par M. Schönholzer.)

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau. 1re opération.	2e opération.	3e opération.	Moyenne[1].	Désignation des repères.
	m	m	m	m	m	
⊙53 — ⊙51	1,905	+64,658	(+64,670)	+64,651	+64,654	⊙51 *r* sur une borne, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et du Chaumont.
					±0,003.5	⊙53 *r* sur un banc en pierre, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et de Valengin.

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866, par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Neuchâtel à Sugy.
	m	m	
⊙ 3 — NF 1	5,245	+ 1,529	NF N° 1 *r* en bronze scellé sur le socle de la colonne limnimétrique, môle de Neuchâtel.
			⊙ 3 *r* sur une borne servant d'indicateur des routes, à l'entrée de Saint-Blaise. (Voyez la page précédente.)
⊙ 4 — ⊙ 3	1,239	+13,331	⊙ 4 *r* sur une borne à gauche de la route, en face de l'hôtel du « Lion, » à Marin.
⊙ 5 — ⊙ 4	1,541	— 0,148	⊙ 5 *r* sur une borne, à droite de la route.
⊙ 6 — ⊙ 5	1,163	—14,530	⊙ 6 *r* sur une borne, à gauche de la route, en aval de la remise de l'hôtel des «trois Suisses,» à Thiele.
⊙ 7 — ⊙ 6	1,060	— 0,996	⊙ 7 *r* sur une coulisse, à droite de la route.
⊙ 8 — ⊙ 7	1,484	+ 3,199	⊙ 8 *r* sur une coulisse, un peu avant la fontaine de Gampelen.
⊙ 9 — ⊙ 8	1,720	— 2,031	⊙ 9 *r* sur une coulisse, à gauche de la route, entre Gampelen et Anet (Ins.)
⊙10 — ⊙ 9	488	+ 4,777	⊙10 *r* sur une borne, à droite de la route.
⊙11 — ⊙10	556	+ 2,209	⊙11 *r* sur une coulisse, à gauche de la route, près d'une fontaine.
⊙12 — ⊙11	1,286	+34,674	⊙12 *r* sur la marche inférieure du perron de l'hôtel de « l'Ours, » à Anet.
⊙13 — ⊙12	613	—17,730	⊙13 *r* sur une pierre, à gauche de la route, en sortant d'Anet.
⊙14 — ⊙13	525	—25,341	⊙14 *r* sur une coulisse, à droite de la route, à 80m environ avant d'arriver à la chaussée, à travers le marais.
⊙15 — ⊙14	1,620	+ 0,288	⊙15 *r* sur le parapet, à gauche, du sixième pont de la chaussée, à travers le marais.

[1] La seconde opération, exécutée par M. Benz en 1865, avait été faite par un vent violent, et elle était marquée par lui comme douteuse; on l'a exclue, pour cette raison, de la moyenne, les deux autres s'accordant beaucoup mieux entre elles.

NOTE

Pour satisfaire à des demandes qui nous ont été adressées de différents côtés, nous ajoutons ici le résultat que le nivellement français a donné pour la cote de la Pierre du Niton. Ce résultat est indiqué à la page 33 du tome Ier du « Nivellement général de la France, » ouvrage publié par le ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics : *Plaque scellée au sommet de la Pierre du Niton, altitude 374m,052,* le plan de comparaison, auquel est rapportée cette cote, étant le niveau moyen de la mer dans le port de Marseille, lequel correspond à la division 0m,40 de l'échelle dans ce port. Le zéro de l'échelle est ainsi de —0m,40 au-dessous de ce niveau moyen.

Si l'on veut comparer le niveau moyen de la mer, dans le port de Marseille, à celui de la Méditerranée, sur d'autres points du littoral français, et à celui de l'Océan, on trouve (voyez *Bibliothèque Universelle,* tome XIX, pages 5 et 328) que le niveau moyen dans les quatre ports de Nice, Toulon, Marseille et Cette est à — 0m,081 au-dessous de celui dans le port de Marseille, et que le niveau moyen de la mer dans 19 ports du littoral français sur l'Océan et sur la Manche est à + 0m,800 au-dessus de celui dans le port de Marseille. On obtient ainsi pour la cote du repère de la Pierre du Niton rapportée à ces différents plans de comparaison :

374m,452	rapportée au zéro de l'échelle du port de Marseille.	
374m,133	»	au niveau moyen de la mer dans les quatre ports de Nice, Toulon, Marseille et Cette.
374m,052	»	au niveau moyen de la mer dans le port de Marseille (c'est la cote adoptée dans le recueil officiel).
373m,252	»	au niveau moyen de la mer dans 19 ports du littoral français sur l'Océan et sur la Manche.

b) Sur un terrain très-défavorable.

	Distance.	Erreur de chaque opération	Erreur moyenne par kilomètre.
	km	mm	mm
De Chufford au sommet du Chasseral...	7,1	±19,5	± 7,3
De Chufford à Paquier.....	3,6	±19,5	±10,3

L'erreur moyenne par kilomètre, sur un terrain très-défavorable, s'élève à ± 8mm,3; la longueur totale de ces deux sections est de 10km,7 pour une seule opération, soit de 21km,4 pour les deux. Voyez (page 59) la cause indiquée comme pouvant produire une différence entre le résultat obtenu sur ces deux sections à la montée et à la descente.

2° Erreur déduite de la clôture d'un polygone.

a) Sur un terrain favorable.

	Développement.	Erreur de clôture.	Erreur moyenne par kilomètre.
	km	mm	mm
Morges, Neuchâtel, Fribourg, Lausanne, Morges.....	196,6	—10	±0,71
Neuchâtel (gare, môle, observatoire, gare).....	4,9	+ 1	±0,45
Pierrabot, Paquier, St-Imier, Chaux-de-Fonds, Pierrabot.	60,6	— 6	±0,77

En tenant compte de la longueur de ces trois polygones, qui comprennent entre eux 262km,1, l'erreur moyenne par kilomètre est ± 0mm,72.

b) Sur un terrain très-défavorable sur une partie du parcours.

	Développement.	Erreur de clôture.	Erreur moyenne par kilomètre.
	km	mm	mm
Pierrabot, Chaumont, Chuffort, Paquier, Pierrabot.	34,3	—15	±2,56

En somme, sur les 500 kilomètres de lignes nivelées sur un terrain favorable, l'erreur moyenne est de ± 0mm,66 par kilomètre, et sur les 55,7 kilomètres de lignes nivelées sur un terrain très-défavorable, l'erreur moyenne est de ± 4mm,77 par kilomètre.

Résumé du calcul de l'erreur commise dans le nivellement.

L'erreur commise dans le nivellement peut être évaluée, soit par la différence entre les deux opérations faites sur la même section, soit par la clôture d'un polygone. Dans le premier cas, en supposant que la moyenne des deux opérations donne le chiffre exact, la différence de chacune d'elles avec la moyenne, ou la demi-différence entre les deux, donne l'erreur sur chaque opération; cette demi-différence, divisée par la racine carrée du nombre de kilomètres qui exprime la longueur de la section, donne l'erreur moyenne par kilomètre. Dans le second cas, l'erreur de clôture du polygone, divisée par la racine carrée du nombre de kilomètres que comprend le développement du polygone, donne l'erreur moyenne par kilomètre. Dans les deux cas, on a considéré séparément les résultats, suivant que le nivellement avait été opéré sur un terrain favorable, c'est-à-dire sur une route bien ferrée, ou le long d'un chemin de fer, ou suivant qu'il avait eu lieu sur un sentier de montagne, avec des pentes très-rapides, ou à travers des pâturages.

1° Erreur déduite d'un nivellement double.

a) Sur un terrain favorable.

	Distance.	Erreur de chaque opération.	Erreur moyenne par kilomètre.
	km	mm	mm
De Genève à Morges	49,8	±2,0	±0,28
De Neuchâtel à Pierrabot	2,2	±1,0	±0,67
De Pierrabot à Valengin	1,9	±3,5	±2,50
De Pierrabot au signal du Chaumont	6,2	±0,5	±0,20
De Paquier à Dombresson	4,6	±4,0	±1,86
De la Chaux-de-Fonds au Locle	8,6	±3,5	±1,20
Du Locle à Morteau	14,6	±7,5	±1,96
De Neuchâtel à Bienne	30,9	±0,0	±0,00

En tenant compte de la longueur de ces différentes sections, l'erreur moyenne par kilomètre s'élève à $\pm$ 0^{mm},59 sur un terrain favorable; la longueur totale de ces lignes nivelées à double est de 118^{km},8 pour une seule opération, et de 237^{km},6 pour les deux.

Nivellement de Neuchâtel à Bienne, par Saint-Blaise et la Neuveville, le long du lac.

Août et Novembre 1866.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau. 1re opération Benz. Août 1866.	2me opération Schönholzer. Nov. 1866.	Moyenne.	Désignation des repères.
	m	m	m	m	
⊙ 3 — NF 1	5,245	+ 1,530	+ 1,529	+ 1,529	NF N° 1 *r* en bronze scellé sur le socle de la colonne limnimétrique, môle de Neuchâtel. ⊙ 3 *r* sur une borne servant d'indicateur des routes à l'entrée de Saint-Blaise. (Voyez sur la section Neuchâtel-Saint-Blaise la page 49.)
⊙ 1 — ⊙ 3	257	— 1,457	— 1,457	— 1,457	⊙ 1 *r* sur une borne, à droite de la route, en face de la forge de Saint-Blaise.
⊙ 2 — ⊙ 1	2,962	+ 1,625	+ 1,626	+ 1,626	⊙ 2 *r* sur une borne, à droite de la route, à 700m environ en deçà de Cornaux.
⊙ 3 — ⊙ 2	619	+ 0,098	+ 0,101	+ 0,099	⊙ 3 *r* sur une borne, près du passage à niveau du chemin de fer, en deçà de Cornaux.
⊙ 4 — ⊙ 3	4,058	— 2,669	— 2,673	— 2,671	⊙ 4 *r* sur une borne, à droite de la route, à un coude qu'elle fait à 400m environ de Landeron.
⊙ 5 — ⊙ 4	2,469	+ 1,446	+ 1,444	+ 1,445	⊙ 5 *r* sur un bahut du parapet, côté droit, du pont qui fait la limite entre les cantons de Neuchâtel et de Berne, *r* au-dessus des armoiries.
⊙ 6 — ⊙ 5	2,514	— 0,088	— 0,083	— 0,085	⊙ 6 *r* à l'extrémité nord d'un mur, à droite de la route, à 100m environ en deçà de la maison de Wyssenrain, entre Neuveville et Douanne.
⊙ 7 — ⊙ 6	2,575	— 0,937	— 0,943	— 0,940	⊙ 7 *r* sur une coulisse, à gauche de la route, en deçà de la carrière, près de Ligerz.
⊙ 8 — ⊙ 7	2,866	+ 1,153	+ 1,147	+ 1,150	⊙ 8 *r* sur un mur, à droite de la route, entre les bornes N° 9 et N° 8, du chemin de fer.
⊙ 9 — ⊙ 8	2,823	+ 7,396	+ 7,401	+ 7,399	⊙ 9 *r* sur l'extrémité Est d'un mur, à droite de la route, entre les bornes N° 15 et N° 14, du chemin de fer, en face d'un grand escalier.
⊙10 — ⊙ 9	1,929	— 4,017	— 4,015	— 4,016	⊙10 *r* sur une marche, entre le chemin de fer et la route, entre les bornes N° 9 et N° 8.
⊙11 — ⊙10	1,627	— 4,827	— 4,825	— 4,826	⊙11 *r* sur l'extrémité Est du mur du jardin de la brasserie « Seefels, » à Bienne.
NF21 — ⊙11	988	+ 5,582	+ 5,583	+ 5,582	NF21 *r* en bronze scellé sur le socle du montant de droite, de la porte principale de l'Hôtel-de-Ville, à Bienne.
NF21 — NF 1	30,932	+ 4,835	+ 4,835	+ 4,835	± 0,000

Nivellement de la Chaux-de-Fonds au Locle et à Morteau (département du Doubs en France), par M. Benz. Septembre 1865.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération	2me opération	Moyenne.	
			De la Chaux-de-Fonds au Locle.		
⊙25 — NF 7	m 1,263	m + 7,013	m + 7,007	m + 7,010	NF n° 7 [1] *r* en bronze scellé sur une tablette de fenêtre du rez-de-chaussée de l'Hôtel de ville à la Chaux-de-Fonds. ⊙25 *r* sur une borne à gauche de la route, à 70m environ au delà de la brasserie.
⊙26 — ⊙25	3,044	+23,625	+23,636	+23,630	⊙26 *r* sur une borne à gauche de la route.
⊙27 — ⊙26	1,451	— 4,205	— 4,207	— 4,206	⊙27 *r* sur une borne du chemin de fer.
⊙28 — ⊙27	1,123	—75,084	—75,083	—75,083	⊙28 *r* sur une borne à droite de la route.
NF 8 — ⊙28	1,738	—17,789	—17,786	—17,788	NF n° 8 *r* en bronze scellé sur une tablette de fenêtre du rez-de-chaussée, façade nord-ouest, de la maison de la poste, au Locle.
NF 8 — NF 7	8,619	—66,440	—66,433	—66,437	±0,003.5 [1] Un repère de M. Osterwald, placé sur la dalle devant la porte d'entrée de l'hôtel de la « Fleur de Lys, » à la Chaux-de-Fonds, est à —2m,264 au-dessous de NF7.
			Du Locle à Morteau (département du Doubs).		
⊙29 — NF 8	1,846	— 6,963	— 6,968	— 6,966	NF n° 8 *r* en bronze scellé sur une tablette de fenêtre du rez-de-chaussée, maison de la poste, au Locle. ⊙29 *r* sur une dalle du trottoir, à droite de la route.
⊙30 — ⊙29	1,834	—23,877	—23,865	—23,871	⊙30 *r* sur une dalle, devant la porte d'entrée de l'auberge « Col des Roches. »
⊙31 — ⊙30	1,886	—65,968	—65,986	—65,977	⊙31 *r* sur la margelle du puits « les Bassots, » à droite de la route.
⊙32 — ⊙31	1,391	—49,448	—49,453	—49,450	⊙32 *r*
⊙33 — ⊙32	989	—18,921	—18,920	—18,921	⊙33 *r* sur le socle d'une colonne en fer, à l'angle sud-ouest de la douane française, à Villers-le-Lac
⊙34 — ⊙33	1,707	— 1,562	— 1,564	— 1,563	⊙34 *r* sur un rocher, à droite de la route.
⊙35 — ⊙34	2,050	— 0,585	— 0,593	— 0,589	⊙35 *r*
⊙36 — ⊙35	1,406	+ 0,065	+ 0,063	+ 0,064	⊙36 *r*
NF 9 — ⊙36	1,535	+17,305	+17,317	+17,311	NF n° 9 *r* en bronze scellé sur la dalle, au sommet du perron de l'Hôtel-de-ville à Morteau, près du montant de droite.
NF 9 — NF 8	14,644	-149,954	-149,969	-149,962	±0,007.5

Nivellement de Paquier à Saint-Imier, la Chaux-de-Fonds, Vue des Alpes, Valengin, Pierrabot (suite).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De la Vue des Alpes (Tête de Rang) à Pierrabot.
	m	m	
⊙42 — ⊙41	633	—49,071	⊙41 *r* sur la dalle, au haut du perron de l'hôtel des Alpes, à gauche de la porte d'entrée.
			⊙42 *r* sur une borne, à droite de la route, à la croisée d'un sentier.
⊙43 — ⊙42	911	—70,213	⊙43 *r*
⊙44 — ⊙43	931	—54,966	⊙44 *r*
⊙45 — ⊙44	1,132	—86,811	⊙45 *r* sur une borne, à droite de la route, près d'une carrière de gravier.
⊙46 — ⊙45	447	—36,577	⊙46 *r* sur le socle d'une borne servant d'indicateur de routes, en face de l'hôtel du Val de Ruz, aux hauts Geneveys, à l'embranchement de la route qui mène à Dombresson.
⊙47 — ⊙46	1,104	—85,729	⊙47 *r* sur une borne, à droite de la route.
⊙48 — ⊙47	633	—52,222	⊙48 *r* sur le soubassement, à l'angle nord-est, de l'auberge de Malvilliers.
⊙49 — ⊙48	624	—45,079	⊙49 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙50 — ⊙49	1,356	—53,554	⊙50 *r* sur la marche inférieure du perron de la maison communale à Boudevilliers, à droite de la porte d'entrée.
⊙51 — ⊙50	1,437	—58,984	⊙51 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙52 — ⊙51	610	—41,675	⊙52 *r* sur le soubassement de la borne servant d'indicateur des routes, devant l'hôtel de la Couronne, à Valengin.
⊙53 — ⊙52	943	+38,073	⊙53 *r* sur un banc en pierre, à droite de la route, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et de Valengin.
⊙51 — ⊙53	1,905	—64,654	⊙51 *r* sur une borne, à l'embranchement des routes du Val de Ruz et du Chaumont. (Voyez pour cette section entre ces deux repères la page 50.)
⊙51 — ⊙41	12,666	-661,462	

Résumé du polygone : Pierrabot, Dombresson, Paquier, Saint-Imier, Cibourg, la Chaux-de-Fonds, Vue des Alpes, Pierrabot.

		Distance.	Différence de niveau.	
		km	m	
⊙43 Dombresson.....	— ⊙51 Pierrabot.....	11,482	+115,881	
NF5 Paquier.....	— ⊙43 Dombresson.....	4,623	+157,706	±0,004
⊙5.....	— NF5 Paquier.....	4,147	+223,653	
NF6 Saint-Imier.....	— ⊙5.....	5,190	—309,933	
⊙18 Cibourg.....	— NF6 Saint-Imier.....	8,743	+262,629	
NF7 la Chaux-de-Fonds.	— ⊙18 Cibourg.....	6,686	— 84,942	
⊙41 Vue des Alpes.....	— NF7 la Chaux-de-Fonds.	7,051	+296,462	
⊙51 Pierrabot.....	— ⊙41 Vue des Alpes....	12,666	—661,462	
⊙51 Pierrabot.....	— ⊙51 Pierrabot.....	60,588	— 0,006	

Ce polygone, de 60 ½ kilomètres de développement, ferme ainsi à 6 millimètres près, ce qui donne une erreur de moins de huit dixièmes de millimètre par kilomètre.

Nivellement de Paquier à Saint-Imier, la Chaux-de-Fonds, Vue des Alpes, Valengin, Pierrabot, par M. Benz. Août, Septembre et Octobre (suite).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
De Saint-Imier à ⊙18, près de la maison d'école de Cibourg (près du point culminant entre Saint-Imier et la Chaux-de-Fonds).			
⊙12 — NF 6	884m	+ 3m,166	NF n° 6 *r* en bronze scellé sur le cordon de la maison n° 14, à l'angle de la Grande rue et de la rue du Collége à Saint-Imier.
			⊙12 *r*
⊙13 — ⊙12	3,154	- 1,539	⊙13 *r* sur une borne, à 630m environ au delà du village de Sonvillier.
⊙14 — ⊙13	1,321	+ 32,971	⊙14 *r* sur une borne à gauche de la route, à 300m environ en aval de la brasserie de Renan.
⊙15 — ⊙14	1,125	+ 45,152	⊙15 *r* au bas du perron de la maison de M. le lieut.-colonel Girard, à Renan
⊙16 — ⊙15	163	+ 11,398	⊙16 *r*
⊙17 — ⊙16	709	+ 57,922	⊙17 *r*
⊙18 — ⊙17	1,387	+113,559	⊙18 *r* sur un rocher à droite de la route, à 15m environ en aval de la maison d'école de Cibourg.
⊙18 — NF 6	8,743	+262,629	
De ⊙18, près de la maison d'école de Cibourg, à la Chaux-de-Fonds.			
⊙19 — ⊙18	1,490	- 29,817	⊙18 *r* sur un rocher, à droite de la route, à 15m environ en aval de la maison d'école de Cibourg.
			⊙19 *r* sur une borne à droite de la route, à 250m environ en aval du bureau des péages.
⊙20 — ⊙19	1,122	- 29,283	⊙20 *r*
⊙21 — ⊙20	1,193	+ 45,405	⊙21 *r* à 280m environ, au delà du point culminant de la route.
⊙22 — ⊙21	681	- 45,779	⊙22 *r* sur une borne, à droite de la route, près d'une carrière de gravier voisine de la maison de M. le président Girard, de la Chaux-de-Fonds.
⊙23 — ⊙22	1,948	- 15,249	⊙23 *r*
⊙24 — ⊙23	181	- 10,665	⊙24 *r*
NF 7 — ⊙24	71	+ 0,446	NF n° 7 *r* en bronze scellé sur une tablette de fenêtre du rez-de-chaussée de l'Hôtel de ville, à la Chaux-de-Fonds.
NF 7 — ⊙18	6,686	- 84,942	
De la Chaux-de-Fonds à la Vue des Alpes (Tête de Rang), point culminant de l'ancienne route postale entre la Chaux-de-Fonds et Neuchâtel.			
⊙37 — NF 7	1,698	+ 32,313	NF n° 7 *r* en bronze scellé sur une tablette de fenêtre du rez-de-chaussée de l'Hôtel de ville, à la Chaux-de-Fonds.
			⊙37 *r*
⊙38 — ⊙37	1,575	+112,892	⊙38 *r*
⊙39 — ⊙38	1,580	+ 44,479	⊙39 *r*
⊙40 — ⊙39	1,044	+ 57,092	⊙40 *r* sur une borne, à droite de la route.
⊙41 — ⊙40	1,154	+ 49,686	⊙41 *r* sur la dalle au haut du perron de l'hôtel des Alpes, à gauche de la porte d'entrée.
⊙41 — NF 7	7,051	+296,462	

Résumé du polygone : Pierrabot, Signal du Chaumont, Chufford, Paquier, Dombresson, Pierrabot.

		Distance.	Différence de niveau.	
		km	m	
NF3 signal du Chaumont	— ⊙51 Pierrabot.....	6,170	+547,693	±0,000.5
⊙17 Chufford.....	— NF3 signal du Chaumont	8,489	+ 54,143	
NF5 Paquier.....	— ⊙17 Chufford.....	3,569	—328,264	±0,019.5
⊙43 Dombresson.....	— NF5 Paquier	4,623	—157,706	±0,004
⊙51 Pierrabot.....	— ⊙43 Dombresson.....	11,482	—115,881	
⊙51	— ⊙51	34,333	— 0,015	

Ce polygone, de 34 $^1/_3$ kilomètres de développement, ferme ainsi, à 15 millimètres près, ce qui donne une erreur de $2^{mm},56$ par kilomètre ; il est vrai que la ligne de nivellement a suivi sur une partie du parcours, du Chaumont à Chufford et Paquier, un terrain très-difficile et défavorable ; le sentier présentait quelquefois des pentes excessivement rapides, au point que l'on était obligé de le quitter pour faire des lacets ; dans d'autres endroits il se perdait dans des pâturages touffus, offrant un point d'appui peu sûr pour la mire.

Nivellement de Paquier à Saint-Imier, la Chaux-de-Fonds, Vue des Alpes, Valengin, Pierrabot, par M. Benz. Août, Septembre et Octobre 1865.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
De Paquier à ⊙5, près du point culminant de la route entre Paquier et Saint-Imier.			
	m	m	
⊙ 1 — NF 5	767	+39,721	NF n° 5 *r* en bronze scellé sur le cordon à l'angle sud de la maison d'école à Paquier.
			⊙1 *r*
⊙ 2 — ⊙ 1	881	+43,126	⊙2 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙ 3 — ⊙ 2	169	+14,355	⊙3 *r*
⊙ 4 — ⊙ 3	709	+55,161	⊙4 *r* sur une borne, à droite de la route.
⊙ 5 — ⊙ 4	1,621	+71,290	⊙5 *r* sur une borne, à 80m environ avant d'arriver au point culminant de la route entre Paquier et Saint-Imier.
⊙ 5 — NF 5	4,147	+223,653	
De ⊙5, près de ce point culminant, à Saint-Imier.			
⊙ 6 — ⊙ 5	1,199	- 32,704	⊙ 5 *r* sur une borne, à 80m environ avant d'arriver au point culminant de la route entre Paquier et Saint-Imier.
			⊙ 6 *r*
⊙ 7 — ⊙ 6	568	- 42,941	⊙ 7 *r*
⊙ 8 — ⊙ 7	1,380	-145,885	⊙ 8 *r* sur un rocher, au bord de la route.
⊙ 9 — ⊙ 8	420	- 58,342	⊙ 9 *r*
⊙10 — ⊙ 9	341	- 40,224	⊙10 *r*
⊙11 — ⊙10	848	- 1,753	⊙11 *r* à l'entrée de Saint-Imier.
NF6 — ⊙11	434	+ 11,916	NF n° 6 *r'* en bronze scellé sur le cordon de la maison n° 14, à l'angle de la Grande rue et de la rue du Collége à Saint-Imier.
NF6 — ⊙ 5	5,190	-309,933	

Nivellement de Paquier, par le val de Ruz à Dombresson et Pierrabot, au-dessus de Neuchâtel. Août et Octobre 1865 (M. Benz).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération	2me opération	Moyenne.	
De Paquier à Dombresson.					
⊙40 — NF 5	m 406	m —13,028	m —13,031	m —13,030	NF n° 5 *r* en bronze scellé sur le cordon, à l'angle sud, de la maison d'école à Paquier. ⊙40 *r* sur un repère, à gauche de la route, après le village de Paquier.
⊙41 — ⊙40	1,007	—52,618	—52,623	—52,620	⊙41 *r* sur une borne, à gauche de la route, entre Paquier et Villiers.
⊙42 — ⊙41	1,855	—67,076	—67,076	—67,076	⊙42 *r* sur une borne, à gauche de la route, à l'entrée de Villiers, à l'embranchement du sentier qui se dirige sur Clémesin.
⊙43 — ⊙42	1,355	—24,980	—24,980	—24,980	⊙43 *r* sur la marche inférieure du perron de la maison communale de Dombresson, à gauche de la porte.
⊙43 — NF 5	4,623	-157,702	-157,710	-157,706	±0,004.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
De Dombresson à Pierrabot (section nivelée une fois seulement).			
⊙44 — ⊙43	m 248	m — 4,428	⊙43 *r* sur la marche inférieure du perron de la maison communale de Dombresson, à gauche de la porte. ⊙44 *r* sur une coulisse à droite de la route, au premier pont sur le Seyon, en sortant de Dombresson.
⊙45 — ⊙44	1,869	+13,215	⊙45 *r* sur une borne, à droite de la route, à 60m environ en deçà de la première maison de Petit-Savagnier.
⊙46 — ⊙45	1,971	+23,229	⊙46 *r*
⊙47 — ⊙46	2,510	—26,208	⊙47 *r* sur une borne, à 323m environ au delà de Velard.
⊙48 — ⊙47	3,202	— 7,212	⊙48 *r* sur une borne, à droite de la route, près de l'entrée d'une carrière.
⊙49 — ⊙48	366	—15,473	⊙49 *r*
⊙50 — ⊙49	554	—46,539	⊙50 *r*
⊙51 — ⊙50	762	—52,465	⊙51 *r* sur une borne, à Pierrabot, à l'embranchement des routes du Chaumont et du val de Ruz.
⊙51 — ⊙43	11,482	-115,881	

Nivellement de Pierrabot au signal du Chaumont, Chufford, le sommet du Chasseral, Paquier (suite).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération en descendant	2me opération en montant	Moyenne.	
					de 380m,695 au-dessus de ⊙17 à Chufford. L'erreur probable indiquée pour la différence de niveau entre le sommet du Chasseral et Chufford, et qui a été déduite de la différence entre le résultat des deux opérations, la première faite en montant, la seconde en descendant, est selon toute apparence notablement plus forte que l'erreur réelle de la moyenne, parce que dans plusieurs des sections, d'un repère à l'autre, la nature du sol a pu introduire une différence entre le résultat des deux opérations, différence qui disparaît dans la moyenne. En effet, dans les sections ⊙19-⊙18, ⊙20-⊙19, ⊙24-⊙22, qui présentent les plus fortes différences, le sentier se perdait dans un pâturage très-touffu, qui pouvait se prêter à un très-léger tassement, par suite du poids de la mire, malgré le soin pris d'enfoncer autant que possible la plaque en fer sur laquelle elle repose. Un pareil tassement, s'il existe, doit augmenter toutes les lectures de la mire dans les stations en arrière, relativement aux lectures faites dans les stations en avant, et par suite augmenter la différence de niveau dans l'opération faite en montant et la diminuer dans celle faite en descendant. Un effet analogue se rencontre également dans la section suivante de Chufford à Paquier, où la ligne de nivellement entre quelques-uns des repères suivait de même des pâturages en dehors d'un sentier battu, et où la première opération a été faite en descendant et la seconde en montant. Il suffirait d'admettre un tassement de quelques dixièmes de millimètre, pendant chaque station de la mire, pour expliquer les différences entre les résultats des deux opérations.
De Chufford à Paquier, par M. Benz.					
⊙34 — ⊙17	477m	- 24,018m	- 24,020m	- 24,019m	⊙17 r à l'angle nord-est du seuil de la porte d'entrée de l'auberge de Chufford.
					⊙34 r
⊙35 — ⊙34	480	- 60,652	- 60,658	- 60,655	⊙35 r sur un rocher, à gauche du sentier, à 15m environ au delà de la deuxième barrière, à partir de Chufford.
⊙36 — ⊙35	405	- 53,343	- 53,352	- 53,347	⊙36 r sur un bloc, au milieu du sentier, à 70m environ au delà de la troisième barrière, à partir de Chufford.
⊙37 — ⊙36	504	- 68,958	- 68,969	- 68,964	⊙37 r sur un rocher, à droite du sentier, à 30m environ en deçà de la fontaine, qui est au-dessus de Clémesin.
⊙38 — ⊙37	536	- 30,313	- 30,315	- 30,314	⊙38 r sur une pierre taillée en forme de marche, sur le sentier entre Clémesin et Paquier.
⊙39 — ⊙38	650	- 85,741	- 85,755	- 85,748	⊙39
NF5 — ⊙39	517	- 5,220	- 5,215	- 5,217	NF 5 r en bronze scellé sur le cordon, à l'angle sud, de la maison d'école à Paquier.
NF5 — ⊙17	3,569	-328,245	-328,284	-328,264	±0,019.5

Nivellement de Pierrabot au signal du Chaumont, Chufford, le sommet du Chasseral, Paquier (suite).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération en montant	2me opération en descendant	Moyenne.	
De Chufford au sommet du Chasseral.					
⊙18 — ⊙17	m 348	m + 36,290	m + 36,291	m + 36,290	⊙17 *r* à l'angle nord-est du seuil de la porte d'entrée de l'auberge de Chufford. ⊙18 *r* sur un rocher, au bord du sentier, après avoir franchi la clôture au-dessus de Chufford.
⊙19 — ⊙18	1,056	+ 64,335	+ 64,319	+ 64,327	⊙19 *r* sur un rocher, au bord du sentier.
⊙20 — ⊙19	1,017	+ 62,679	+ 62,660	+ 62,670	⊙20 *r* sur un rocher, près des premiers sapins au-dessus de la combe, que l'on passe après la métairie de l'Ile.
⊙21 — ⊙20	284	+ 11,609	+ 11,611	+ 11,610	⊙21 *r* sur un rocher, à la droite du sentier, à 92m environ au delà du point, où commence la forte descente vers la métairie Dombresson.
⊙22 — ⊙21	611	- 28,210	- 28,205	- 28,207	⊙22 *r* sur un rocher, un peu au delà de la clôture de la métairie Dombresson.
⊙24 — ⊙22	882	+103,750	+103,731	+103,740	⊙24 *r* sur un rocher entre deux sapins, au-dessus de la métairie Dombresson.
⊙25 — ⊙24	212	+ 26,133	+ 26,140	+ 26,136	⊙25 *r* sur une pierre, à fleur du sol, au pied de la borne de délimitation des cantons de Neuchâtel et de Berne; cette borne porte l'inscription B 25 1820; le sommet de cette borne est élevé de 1m,19 au-dessus du repère ⊙25.
⊙26 — ⊙25	197	+ 9,731	+ 9,724	+ 9,728	⊙26 *r* sur un rocher, un peu au-dessous de l'arête du Chasseral.
⊙27 — ⊙26	1,222	+ 25,788	+ 25,794	+ 25,791	⊙27 *r* sur un rocher, un peu au-dessous de l'arête du Chasseral. NB. Cette section a été nivelée trois fois, la seconde opération ayant montré une différence notable avec le résultat de la première, faite dans les circonstances atmosphériques de brouillard et de vent les plus défavorables. Le résultat marqué dans la colonne deuxième opération est celui obtenu dans la troisième, celui obtenu dans la première ayant été mis de côté.
⊙29 — ⊙27	811	+ 30,286	+ 30,286	+ 30,286	⊙29 *r* sur un rocher, un peu au-dessous de l'arête du Chasseral, à 1/2 kilomètre environ du sommet.
NF4 — ⊙29	499	+ 37,615	+ 37,616	+ 37,616	N F N° 4 *r* en bronze scellé sur une arête de rocher, à une quinzaine de mètres environ à l'ouest du signal, et un peu au-dessous de la base de ce dernier.
NF4 — ⊙17	7,139	+380,006	+379,967	+379,987	±0m,019.5

On a pris un repère ⊙30, sur une pierre à fleur du sol, à la base du signal du côté de l'ouest; ce repère ⊙30, et par conséquent le sommet du Chasseral, est élevé de +0m,708 au-dessus de NF 4. Le sommet du Chasseral est donc élevé

Nivellement de Pierrabot au signal du Chaumont, Chufford, le sommet du Chasseral, Paquier (suite).

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération	2me opération	Moyenne.	
Détermination de quelques repères intermédiaires aux environs du Chaumont.					
1° Près de l'ancien hôtel du Chaumont :					
⊙α — ⊙ 1		— 1,141			⊙α *r* sur une dalle de la terrasse supérieure, devant la façade sud, au bas du perron.
⊙β — ⊙ 1		— 1,880			⊙β *r* sur une dalle de la terrasse inférieure, devant la façade sud, au bas du perron.
2° Près du signal :					
⊙7 — NF3		— 0,583	— 0,583	— 0,583	⊙7 *r* sur l'angle nord-ouest du mur de la terrasse au sud du signal.
⊙8 — NF3		+ 0,627	+ 0,626	+ 0,627	⊙8 *r* sur l'angle sud-ouest du mur de la terrasse au nord du signal.
⊙6 — NF3		—26,101		—26,101	⊙6 *r* sur le seuil de la maison d'école au Chaumont.
⊙5 — NF3		—25,858		—25,858	⊙5 *r* sur un bassin de fontaine en pierre, contre la façade ouest de la maison d'école. La pointe du baromètre de la station météorologique du Chaumont est élevée de $+3^m,492$ au-dessus du repère ⊙5.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
Du signal du Chaumont à Chufford (section nivelée une fois seulement).			
⊙ 9 — NF3	m 231	m —16,432	⊙ 9 *r* sur un rocher, à l'endroit où le sentier du signal rejoint la route du Chaumont à Chufford.
⊙10 — ⊙ 9	1,842	—16,587	⊙10 *r* sur le pilier oriental du portail de la métairie Perregaux.
⊙11 — ⊙10	1,959	+36,730	⊙11 *r* sur une borne de délimitation de districts, au haut de la Combe.
⊙12 — ⊙11	1,378	+51,950	⊙12 *r* sur un rocher à droite de la route, un peu avant d'arriver à la maison de maître de Ladame.
⊙14 — ⊙12	912	+11,246	⊙14 [1] *r* sur un rocher situé à l'Est, près de la métairie Ladame.
⊙15 — ⊙14	957	+15,332	⊙15 *r* sur une grande pierre plate, à l'angle d'une masure recouvrant une ancienne citerne, à l'Est du sentier de Ladame à Chufford.
⊙16 — ⊙15	1,032	—29,734	⊙16 *r* sur un rocher au bord de la route, près d'un mur, un peu avant d'arriver à Chufford.
⊙17 — ⊙16	178	+ 1,638	⊙17 *r* à l'angle nord-est du seuil de la porte d'entrée de l'auberge de Chufford.
⊙17 — NF 3	8,489	+54,143	

[1] Un repère ⊙13 placé sur le seuil de la porte d'entrée de la métairie de Ladame, un peu avant le ⊙14, est déterminé par ⊙13 — ⊙14 = $-10^m,278$.

Résumé du polygone qui relie les repères de Morges, Cossonay, Yverdon, Neuchâtel, Sugy, Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

			Distance.	Différence de niveau.
			km	m
⊙65 à Cossonay	—	NF15 à Morges	12,700	+186,917
⊙70 à La Sarraz	—	⊙65 à Cosssonay	5,505	— 63,448
⊙78 à Chavornay	—	⊙70 à La Sarraz	9,758	— 51,662
NF16 à Yverdon	—	⊙78 à Chavornay	11,860	— 11,818
⊙96 à Bévaix	—	NF16 à Yverdon	23,926	+ 55,434
NF10 à Auvernier	—	⊙96 à Bévaix	7,853	+ 2,038
⊙3 gare de Neuchâtel	—	NF10 à Auvernier	4,858	— 13,648
NF 1 môle de Neuchâtel	—	⊙3 gare de Neuchâtel	0,920	— 44,836
⊙b à Sugy (base)	—	NF 1 môle de Neuchâtel	21,059	— 1,745
NF17 à Morat	—	⊙b à Sugy (base)	5,438	+ 21,374
NF18 à Fribourg	—	NF17 à Morat	16,708	+134,006
NF19 à Romont	—	NF18 à Fribourg	27,147	+193,970
NF20 à Rue	—	NF19 à Romont	11,931	—113,961
⊙76 à Savigny	—	NF20 à Rue	15,776	+167,739
NF23 à Lausanne	—	⊙76 à Savigny	9,326	—293,884
NF15 à Morges	—	NF23 à Lausanne	11,850	—166,486
NF15	—	NF15	196,615	— 0,010

L'erreur de clôture du polygone est ainsi de —10 millimètres sur un développement de 196 ½ kilomètres.

Nivellement de Pierrabot, au-dessus de Neuchâtel, au signal du Chaumont, le long de la crête du Jura à Chufford et au sommet du Chasserat et de Chufford à Paquier dans le val de Ruz. Juillet et Août 1865.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre			Désignation des repères.
		1re opération	2me opération	Moyenne.	
De Pierrabot au signal du Chaumont (par M. Benz).					
	m	m	m	m	
⊙52 —⊙51	496	+46,351	+46,349	+46,350	⊙51 *r* sur une borne, à l'embranchement des routes du Chaumont et du val de Ruz. ⊙52 *r* au bord de la route.
⊙53 —⊙52	707	+65,042	+65,044	+65,043	⊙53 *r* au bord de la route.
⊙54 —⊙53	230	+25,238	+25,237	+25,237	⊙54 *r* sur un bloc, à droite de la route.
⊙55 —⊙54	710	+68,616	+68,616	+68,616	⊙55 *r* sur un bloc, au bord de la route.
⊙56 —⊙55	567	+57,881	+57,880	+57,880	⊙56 *r* sur un rocher, au bord de la route.
⊙57 —⊙56	896	+90,873	+90,876	+90,875	⊙57 *r* au bord de la route.
⊙58 —⊙57	494	+48,422	+48,422	+48,422	⊙58 *r* au bord de la route.
⊙ 1 —⊙58	886	+60,396	+60,402	+60,399	⊙ 1 *r* sur une borne, à l'angle nord-ouest de l'ancien hôtel au Chaumont.
NF3 —⊙ 1	1,184	+84,874	+84,868	+84,871	NF n° 3 *r* en bronze scellé sur la borne du signal du Chaumont (Terrasse sud).
NF3 —⊙51	6,170	+547,693	+547,694	+547,693	±0,000.5

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866 par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Savigny à Lausanne.
⊙77 — ⊙76	m 1,818	m —29,553	⊙77 *r* sur une borne, à droite de la route, à 150m environ au delà de l hôtel du « Cheval blanc. »
⊙78 — ⊙77	443	—26,731	⊙78 *r* sur un rocher, à gauche de la route.
⊙79 — ⊙78	924	—56,322	⊙79 *r* sur la deuxième borne, à gauche de la route, près de la pinte « Aux trois Chasseurs. »
⊙80 — ⊙79	1,290	—40,454	⊙80 *r* sur une borne brisée, à gauche de la route.
⊙81 — ⊙80	2,057	—60,431	⊙81 *r* sur une borne, à gauche de la route, à 180m environ en deçà de la première maison de Lasallaz.
⊙82 — ⊙81	1,257	—42,990	⊙82 *r* sur la deuxième borne, à droite de la route, près de l'entrée du restaurant « Bovard. »
⊙83 — ⊙82	1,179	—61,200	⊙83 *r* à l'angle d'un mur, à gauche de la route, à la bifurcation des routes, qu passent à travers le tunnel de la Barre et au-dessus du tunnel.
NF23 — ⊙83	358	+23,797	N F N° 23 *r* en bronze scellé sur le cordon, à l'angle nord-ouest, de la maison du « juge criminel » en face du château à Lausanne.
NF23 — ⊙76	9,326	-293,884	
			Par deux opérations qui s'accordent à un demi-millimètre près, la surface supérieure du repère en fer du tunnel de la Barre (repère cantonal) est à —2m,843 au-dessous du repère ⊙83, distance d'un repère à l'autre 172m. Par deux opérations, qui s'accordent à deux dixièmes de millimètre près, le repère ⊙84 sur le seuil (côté gauche) de la porte principale de la cathédrale de Lausanne est à —16m,2265 au-dessous du repère en bronze NF N° 23 ; la distance d'un repère à l'autre est de 277m. A partir du repère NF 23, au château, la ligne de nivellement a suivi la ruelle qui descend à la halle aux blés, et de là, par la rue Haldimand, à la nouvelle route de Genève.
			De Lausanne à Morges.
⊙85 — NF23	1,074	—48,600	⊙85 *r* à l'extrémité du mur à gauche, près de la croisée de la rue « des Terraux, » en face du marché au foin, à Lausanne.
⊙86 — ⊙85	1,637	—53,014	⊙86 *r* sur le parapet d'un pont.
⊙87 — ⊙86	308	—15,762	⊙87 *r* sur le cordon (à main gauche du côté de Lausanne) de la culée du pont du chemin de fer de Lausanne à Genève, sur la grande route.
⊙88 — ⊙87	1,171	—37,572	⊙88 *r* sur la quatrième borne, à droite de la route, à partir d'une croisée de routes.
⊙89 — ⊙88	1,770	+10,288	⊙89 *r* sur une borne, à gauche de la route, à 15m environ en deçà d'une croisée de routes.
⊙90 — ⊙89	1,619	+ 1,958	⊙90 *r* sur une grosse borne isolée, à gauche de la route, portant les marques Pn N° 20 et Pn N° 21.
⊙91 — ⊙90	1,610	+ 1,071	⊙91 *r* sur un mur qui touche à la remise de la première maison de Préveranges à main droite.
⊙92 — ⊙91	1,274	—24,369	⊙92 *r* à l'extrémité du parapet, côté gauche, du pont après Préveranges.
NF15 — ⊙92	1,377	— 0,486	N F N° 15 *r* en bronze scellé sur le soubassement à droite de la porte d'entrée de l'église de Morges.
NF15 — NF23	11,850	-166,486	

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866, par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Romont à Rue (suite).
⊙58 — ⊙57	m 909	m —63,680	⊙58 *r* sur une borne, à droite de la route, à 40m environ de la première maison du village de Ursy.
⊙59 — ⊙58	1,615	—51,304	⊙59 *r* sur une borne, à droite de la route, 15m au delà de la première maison en dehors de Rue, à l'extrémité de l'allée de peupliers.
NF20 — ⊙59	760	—19,440	N F N° 20 *r* en bronze scellé sur le cordon à droite de la porte d'entrée de l'Hôtel de Ville de Rue.
NF20 — NF19	11,931	-113,961	
			De Rue à Savigny (au point culminant de la route, un peu au delà de Savigny).
⊙60 — NF20	201	—17,693	⊙60 *r* sur une borne, à gauche de la route, à 60m environ en dehors de la ville.
⊙61 — ⊙60	953	—54,829	⊙61 *r* sur une borne, à droite de la route, un peu avant la croisée de la route qui mène à Carouge.
⊙62 — ⊙61	537	— 3,285	⊙62 *r* sur une borne, à gauche de la route, au point de jonction de l'ancienne et de la nouvelle route de Rue à Prontasens.
⊙63 — ⊙62	1,569	+ 4,436	⊙63 *r* sur un bahud, côté droit, du pont, près des dernières maisons de Romacens.
⊙64 — ⊙63	1,210	+23,146	⊙64 *r* sur une borne, à droite de la route, à 280m environ en deçà du ruisseau qui forme la limite entre les cantons de Fribourg et de Vaud.
⊙65 — ⊙64	379	+ 1,580	⊙65 *r* sur un gros bloc, à gauche de la route, au haut de la côte qui se trouve après avoir passé ce ruisseau.
⊙66 — ⊙65	1,412	+10,981	⊙66 *r* sur une borne, au bas du perron de l'Hôtel de Ville, à Oron.
⊙67 — ⊙66	1,262	—26,857	⊙67 *r* sur le cordon du parapet (côté gauche) du pont du Grenet.
⊙68 — ⊙67	793	+38,965	⊙68 *r* sur une borne, à droite de la route, au bas de la deuxième rampe après le pont du Grenet.
⊙69 — ⊙68	759	+60,754	⊙69 *r* sur une borne, à gauche de la route, près du coude, que la route fait vers la droite, pour se diriger sur Essertes.
⊙70 — ⊙69	1,112	+54,595	⊙70 *r* sur la marche inférieure du perron de l'auberge de la « Croix fédérale » à Essertes, à l'embranchement des routes de Lausanne et de Moudon.
⊙71 — ⊙70	397	— 0,305	⊙71 *r* sur une borne, à gauche de la route, à l'extrémité d'une carrière de gravier.
⊙72 — ⊙71	1,433	—23,441	⊙72 *r* sur une coulisse, à gauche de la route, à une croisée de routes, à 400m environ, au delà de l'embranchement de la route de Vevey.
⊙73 — ⊙72	1,475	+11,767	⊙73 *r* sur une coulisse, à droite de la route, près d'une maison isolée située à gauche entre Essertes et Savigny.
⊙74 — ⊙73	1,510	+47,578	⊙74 *r* sur une borne, à 3m du bord droit de la route, à 50m environ en deçà de l'auberge de « l'Union » à Savigny.
⊙75 — ⊙74	684	+35,518	⊙75 *r* sur une borne, à gauche de la route.
⊙76 — ⊙75	90	+ 4,829	⊙76 *r* sur une borne, à droite de la route, au point culminant de la route d'Oron à Lausanne, un peu au delà de Savigny.
⊙76 — NF20	15,776	+167,739	

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866, par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Fribourg à Romont (suite).
⊙39 — ⊙38	1,807 m	— 2,123 m	⊙39 *r* à l'extrémité du mur de soutènement, à gauche de la ligne, à 30m en deçà de la maison de garde N° 44.
⊙40 — ⊙39	1,633	+ 3,453	⊙40 *r* sur une borne du chemin de fer, côté gauche, à 50m au delà du passage à niveau, après la station de Matran.
⊙41 — ⊙40	2,419	+21,906	⊙41 *r* sur une borne du chemin de fer, côté droit, à l'extrémité de la tranchée entre Matran et Neyruz.
⊙42 — ⊙41	2,220	+19,441	⊙42 *r* sur une coulisse, à droite de la ligne, au passage à niveau après la station de Neyruz.
⊙43 — ⊙42	2,043	+20,690	⊙43 *r* sur une coulisse, à gauche de la ligne, près de la maison de garde N° 38, « aux Riolets. »
⊙44 — ⊙43	2,239	+ 6,061	⊙44 *r* sur une coulisse, à gauche de la ligne, au passage à niveau, près de la maison de garde N° 36.
⊙45 — ⊙44	2,057	+ 8,571	⊙45 *r* sur une borne, à droite de la ligne, à 25m de la maison de garde N° 34.
⊙46 — ⊙45	1,988	—16,570	⊙46 *r* sur le parapet gauche du pont suspendu entre les stations de Chénens et Villaz St-Pierre.
⊙47 — ⊙46	2,009	+ 0,633	⊙47 *r* sur le cordon, à gauche de la ligne, au passage à niveau à l'extrémité de la gare de Villaz St-Pierre.
⊙48 — ⊙47	1,662	— 0,182	⊙48 *r* sur une coulisse, à gauche de la ligne, entre les poteaux kilométriques 44 et 43.
⊙49 — ⊙48	1,772	— 3,471	⊙49 *r* sur le cordon, côté gauche, du pont du chemin de fer sur la route de Romont à Payerne; un peu au delà du repère ⊙49, la ligne du chemin de fer a été abandonnée pour se diriger du côté de la ville de Romont.
⊙50 — ⊙49	1,118	+53,382	⊙50 *r* sur la marche inférieure du perron de l'église des capucins à Romont.
NF19 — ⊙50	403	+26,525	N F N° 19 *r* en bronze scellé sur le seuil de la porte de l'Hôtel de Ville à Romont.
NF19 — NF18	27,147	+193,970	
			De Romont à Rue (par la grande route, ainsi que les sections suivantes).
⊙51 — NF19	600	—56,269	⊙51 *r* sur une borne au bord de la route, à gauche, près de l'indicateur à la croisée des routes de Bulle et de Lausanne.
⊙52 — ⊙51	1,518	— 4,681	⊙52 *r* sur une coulisse, à droite de la route, au bas de la seconde rampe après la traversée du chemin de fer.
⊙53 — ⊙52	1,461	+64,910	⊙53 *r* sur une coulisse, à droite de la route, à 150m environ du point culminant de la route entre Romont et Siviriez.
⊙54 — ⊙53	1,044	—17,414	⊙54 *r* sur une borne, à droite de la route, près de la première maison de Siviriez.
⊙55 — ⊙54	1,867	+21,116	⊙55 *r* sur un bahut du parapet gauche du pont en pierre, à 1 kilomètre environ au delà de Siviriez.
⊙56 — ⊙55	0,563	+ 9,390	⊙56 *r* sur une borne, à gauche de la route, au bord de la forêt.
⊙57 — ⊙56	1,594	+ 3,413	⊙57 *r* sur un gros bloc, à 2m du bord gauche de la route, à 180m environ au delà du hameau de Saulgy.

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866, par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Morat à Fribourg (suite).
⊙24 — ⊙23	m 1,340	m +48,688	⊙24 *r* sur une borne, à droite de la route, à moitié chemin entre les villages de Courgevaux et Courlevon.
⊙25 — ⊙24	1,295	+58,988	⊙25 *r* sur une borne, à gauche de la route, au point culminant entre Courlevon et Courtepin.
⊙26 — ⊙25	1,435	—18,725	⊙26 *r* sur une borne, à gauche de la route, à 120 mètres en deçà de la forge au bord de la forêt.
⊙27 — ⊙26	1,966	+ 9,375	⊙27 *r* sur la dernière borne, à droite, sur le pont en deçà de Courtepin.
⊙28 — ⊙27	1,338	+17,431	⊙28 *r* sur une borne, à gauche de la route, au point culminant au delà de Courtepin.
⊙29 — ⊙28	1,546	—48,883	⊙29 *r* sur la première pierre du parapet du mur, le long du ruisseau de Sonnaz.
⊙30 — ⊙29	659	+41,987	⊙30 *r* sur une borne, à gauche de la route, sur le replat entre le ruisseau de Sonnaz et le point culminant.
⊙31 — ⊙30	1,500	+19,187	⊙31 *r* sur une coulisse, à droite de la route, au-dessous de la première maison de Wolfgraben.
⊙32 — ⊙31	1,376	+ 8,441	⊙32 *r* sur le cordon de la culée gauche, du pont du chemin de fer sur la route de Morat, à Fribourg.
⊙33 — ⊙32	506	—20,814	⊙33 *r* sur le parapet du mur, à droite, de la route, en face de la porte de la maison 230 B, devant la porte de Fribourg.
NF18 — ⊙33	758	+ 3,746	NF N° 18 *r* en bronze scellé sur la marche supérieure du perron de l'entrée principale de la cathédrale de Fribourg.
NF18 — NF17	16,708	+134,006	

Le chiffre $+3^m,746$ obtenu pour la section NF18 — ⊙33 est la moyenne de deux opérations qui s'accordent à 4 millimètres près.

De la cathédrale de Fribourg la ligne de nivellement a suivi la rue « au Varis » jusqu'au passage à niveau du chemin de fer et de la route de Lausanne ; de là le nivellement a eu lieu le long de la ligne vers Romont.

			De Fribourg à Romont.
⊙34 — NF18	483	+25,177	⊙34 *r* sur une borne à droite de la rue « au Varis, » à la croisée de la ruelle qui mène au séminaire.
⊙35 — ⊙34	116	+11,091	⊙35 *r* sur la quatrième assise d'un mur, en face de la maison portant l'indication « ruelle du Séminaire. »
⊙36 — ⊙35	666	+ 4,575	⊙36 *r* sur le cordon gauche du pont du chemin de fer au-dessus de la route de Romont.
⊙37 — ⊙36	1,172	+ 7,494	⊙37 *r* sur une pierre, à 100^m environ du disque tournant de la gare de Fribourg, du côté de Romont.
⊙38 — ⊙37	1,340	+ 7,317	⊙38 *r* sur un rocher à droite de la ligne, à 120^m au delà du passage à niveau de la route de Bulle.

Nivellement de Neuchâtel à Morat, Fribourg, Romont, Rue, Lausanne, Morges.

Exécuté de Juin à Août 1866, par M. Schönholzer.

Repères.	Distance d'un repère à l'autre.	Différence de niveau d'un repère à l'autre.	Désignation des repères.
			De Neuchâtel à Sugy (suite).
⊙16 — ⊙15	m 1,146	m — 0,098	⊙16 *r* sur le parapet, à droite, du septième pont; c'est le premier sur le canton de Fribourg.
⊙17 — ⊙16	697	— 0,246	⊙17 *r* sur une coulisse, à droite de la route, près du poste fribourgeois, à la croisée des routes de Morat et de Sugy.
⊙ b — ⊙17	676	— 0,632	⊙ b [1] sommet de la borne, qui marque l'extrémité méridionale de la base géodésique, à Sugy.
⊙ b — NF 1	21,059	— 1,745	Par deux opérations, qui s'accordent à un millimètre près, le zéro de l'échelle de la Broye, à Sugy, est de $+0^m,146$ plus élevé que le repère ⊙17 ; l'échelle est à une distance de 904^m de ce repère.
			De Sugy à Morat.
⊙19 — ⊙ b	1,569	+ 0,166	⊙19 *r* sur une coulisse, sous la route de Morat, à droite.
⊙20 — ⊙19	1,668	+17,278	⊙20 *r* sur une pierre, à droite de la route, à la croisée des routes de Soleure et de Berne.
⊙21 — ⊙20	1,981	— 2,888	⊙21 *r* sur une borne, à droite de la route, près du chemin qui mène au cimetière, à l'entrée de Morat.
NF17 — ⊙21	0,220	+ 6,818	N F N° 17 *r* en bronze scellé sur le seuil de la porte de l'école de Morat, en face de la fontaine.
NF17 — ⊙ b	5,438	+21,374	Par deux opérations, qui s'accordent à deux dixièmes de millimètre près, le zéro de l'échelle du lac, à Morat, est de $-20^m,135$ plus bas que le repère en bronze NF17 ; l'échelle est à une distance de 305^m du repère.
			De Morat à Fribourg.
⊙22 — NF17	1,295	— 6,835	⊙22 *r* sur une borne, à droite de la route; cette borne est la sixième à partir du poteau indicateur de la route de Meyriez.
⊙23 — ⊙22	1,694	+21,420	⊙23 *r* sur le parapet, à gauche de la route, du pont dans le village de Courgevaux.

[1] Entre les repères ⊙17 et ⊙19, se trouve à une distance de 484^m du premier, à gauche de la route, un repère ⊙18 sur la dalle qui recouvre le deuxième pont à partir du poste fribourgeois, près du repère ⊙17; à 136^m environ, au delà de ⊙18, soit à 620^m de ⊙17, se trouve le point de la route le plus rapproché de la borne marquant l'extrémité méridionale de la base géodésique, près de Sugy. Cette borne est dans le marais, à droite de la route en se dirigeant sur Morat, à une distance de 56^m environ; la borne elle-même est carrée, de 38^{cm} de côté; au centre se trouve une excavation circulaire de $8^{cm},3$ de diamètre sur $4^{cm},3$ de profondeur, qui devait servir à recevoir un repère, ou cylindre en bronze, ce cylindre a disparu. Le repère ⊙b a été pris sur le point le plus élevé de la borne, à $9^{cm},2$ du centre de l'excavation, dans la direction de la campagne de M. de Rougemont, au Löwenberg. La différence de niveau ⊙18 — ⊙17 $= -0^m,365$ et ⊙b ⊙18 $= -0^m,267$.