Zeitschrift: Bulletin de la Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel

Herausgeber: Société des Sciences Naturelles de Neuchâtel

Band: 7 (1864-1867)

Vereinsnachrichten: Procès-verbal de la quatrième séance de la commission géodésique suisse tenue à l'Observatoire de Neuchâtel le 18 juin 1865

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

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

PROCÈS-VERBAL

DE LA QUATRIÈME SÉANCE

DE LA

COMMISSION GÉODÉSIQUE SUISSE

TENUE A L'OBSERVATOIRE DE NEUCHATEL

le 18 Juin 1865.

Présidence de M. le général DUFOUR.

Le Président, suivant l'ordre du jour proposé par M. Wolf, prie ce dernier de soumettre à la commission le projet de budget pour 1866.

M. *Wolf* propose d'abord pour les travaux géodésiques proprement dits, le budget suivant qui est adopté par la commission.

1° Travaux de triangulation.	Fr.	5,000
2° Observations et calculs astronomiques . .	»	3,000
3° Séance de la commission suisse et de la commission internationale.	»	1,500
4° Frais divers	»	500
Total,	Fr.	10,000

Pour les travaux de nivellement, M. Wolf propose de demander la même somme que pour l'année actuelle, à savoir fr. 5,000.

M. *Plantamour* ne croit pas que cette dernière somme suffise l'année prochaine, où l'on commencera la campagne dès que la saison le permettra et dans le courant de laquelle il conviendrait d'accomplir la plus grande partie du travail. Il voudrait la voir portée à fr. 6,000.

M. *Hirsch* prévoit également que les salaires de deux ingénieurs et de leurs aides exigeront, pour 120 jours de travail seulement, la somme de fr. 6,000.

M. *Dufour* propose pour cette raison d'affecter au nivellement de 1866 la somme de fr. 7,000, ce qui est adopté par la commission.

Le budget total monte ainsi pour l'année 1866 à fr. 17,000.

Sur la demande du Président, M. *Denzler* donne des renseignements sur le plan de campagne pour les mesures trigonométriques de cette année. Il a commencé les opérations au Feldberg et à la Röthifluh, où le hâle les a arrêtés dernièrement. Il espère pouvoir terminer cette année la mesure des triangles principaux, ceux de la plaine aussi bien que ceux de la chaîne qui traverse les Alpes. Il ne resterait alors pour l'année prochaine qu'à exécuter les jonctions avec les observatoires et les stations astronomiques. M. Kündig ne pouvant pas cette année encore prendre part aux travaux, M. Denzler propose de s'adjoindre M. L'Hardy, d'Auvernier, qui a fait dans le temps pour la carte fédérale, une partie notable des levers dans les hautes Alpes, et qui a été pendant plusieurs années chef du bureau topographique fédéral de Genève. M. L'Hardy a passé quelque temps avec M. Denzler à la Röthifluh, pour se familiariser avec l'instrument. Il travaillera encore pendant quelques semaines avec M. Denzler et mesurera ensuite avec le théodolite de Berne les angles dans les stations élevées de notre chaîne des Alpes.

La commission approuve à l'unanimité ces propositions.

Sur la motion faite par M. Denzler, la commission décide également de remercier, par l'entremise du Conseil fédéral, les autorités de l'Autriche, du Wurtemberg et de Baden, pour l'accueil favorable et l'appui qu'elles ont accordés à M. Denzler, lorsqu'il était occupé à relier nos triangles aux réseaux de ces pays voisins.

Enfin M. Denzler voudrait que la commission géodésique insistât auprès du gouvernement de Berne pour que l'observatoire de cette ville soit mis en possession d'une bonne pendule astronomique, afin qu'on y puisse faire les observations nécessaires pour la détermination des azimuths et des différences de longitude.

M. *Dufour* croit que pour atteindre ce but il conviendrait que l'observatoire de Berne fût invité par la commission à se procurer les appareils nécessaires pour exécuter les déterminations télégraphiques de différence de longitude, et qu'au besoin les démarches qui seraient faites dans ce but auprès des autorités fussent appuyées par la commission.

En conséquence, la commission prie M. Wolf d'écrire dans ce sens à Berne.

Suivant l'ordre du jour, M. *Plantamour* fait le rapport suivant sur les expériences qu'il a exécutées pour la détermination de la longueur du pendule simple à Genève :

M. le Président et Messieurs,

Je viens, ainsi que vous me l'avez demandé, vous rendre compte des expériences que j'ai faites jusqu'à présent avec le pendule de reversion de Repsold, ainsi que des remarques et des critiques que l'étude de cet instrument a pu me suggérer. Si je me sers de ce terme de critiques, cela n'implique en aucune façon un jugement défavorable sur le principe d'après lequel l'instrument est construit, ni sur la perfection de l'exécution; bien au contraire, je crois que le système de ce pendule à reversion est préférable aux instruments employés jusqu'à présent, et quant à l'exécution elle est certainement digne, à tous égards, du nom de l'artiste célèbre des ateliers duquel l'appareil est sorti.

Cependant, après m'être occupé pendant plusieurs mois de cet instrument et avoir étudié les moyens de faire et de combiner les expériences, j'ai été frappé de quelques lacunes, de quelques désidérata qui en faciliteraient l'emploi et amèneraient une plus grande exactitude.

J'ai scindé complètement les mesures de la distance des couteaux, de la détermination de la durée d'oscillation; ces deux opérations se faisaient séparément, ce qui n'a aucun inconvénient, la distance des couteaux ne variant pas sensiblement d'une mesure à l'autre.

1° Mesure de la distance entre les couteaux. — Cette partie de l'opération est susceptible d'une exactitude bien plus grande que celle que l'on peut obtenir pour la durée d'une oscillation; et même le grossissement des microscopes me paraît plus fort que cela n'est nécessaire pour le but à atteindre, tandis que la diminution de lumière qui résulte de ce grossissement, rend l'observation plus pénible, surtout pour le couteau supérieur quand on veut observer le tranchant éclairé à l'aide du petit réflecteur. Non seulement l'observation est pénible, mais elle ne peut se faire que par un jour très favorable, toute illumination artificielle devant être écartée. Il me semble qu'il était inutile de pousser le pouvoir optique et micrométrique au-delà de la limite à laquelle on peut estimer l'incertitude sur la température soit de l'échelle soit du pendule, et par suite celle de la dilatation relative. L'incertitude sur la température, due au voisinage du corps de l'observateur et à son action inégale sur le pendule et sur l'échelle, est au-dessous de 0, 3. En effet, un thermomètre suspendu entre l'échelle et le pendule n'a jamais présenté, par la proximité de l'observateur pendant les mesures, une élévation de température supérieure à 0, 3 ou à 0, 4, relativement à des thermomètres placés à une distance de 1 et de 2 mètres. Si le réchauffement total produit par le corps de l'observateur est de 0, 4 sur le thermomètre, il est probable que l'inégalité de l'accroissement de température pour l'échelle et pour le pendule est encore plus faible, bien que l'on ne puisse pas être sûr que ces deux corps prennent également vite la même température et que leur dilatation soit par suite la même. On peut d'après cela estimer de 0°, 1 à 0°, 2 l'incertitude sur la température relative de l'échelle et du pendule au même moment, et en supposant que leur cœfficient de dilatation soit identique, il en résulte sur la longueur relative une incertitude de 0,00047 à 0,00070; j'ai trouvé en moyenne $\pm 0^{l},00072$ pour l'erreur moyenne d'une mesure de la distance des couteaux par la comparaison de chaque détermination avec la moyenne. Il paraît d'après cela que la presque totalité de l'erreur sur une mesure peut être attribuée à l'incertitude sur la dilata-

tion [1], et non à une erreur d'observation; ne peut-on pas en conclure, que puisqu'il est impossible d'apprécier et de tenir compte des inégalités de température et de dilatation, dans les limites de $0^{l},0005$ à 0,0007 environ, il était inutile que le pouvoir optique et micrométrique fût poussé au-delà de ce qui est nécessaire pour rendre cette quantité perceptible et mesurable? Le grossissement des microscopes, qui est d'environ 50, est par conséquent plutôt trop fort; avec un grossissement plus faible, qui donnerait plus de lumière, l'observation serait plus facile dans les limites d'une exactitude suffisante. Il est à regretter que les microscopes ne soient pas munis de vis de rappel pour les ajuster à la distance focale; il n'est pas commode de les faire glisser par le mouvement de la main dans leurs colliers et on n'arrive jamais ainsi à un ajustement aussi satisfaisant. On risque en outre de déranger l'horizontalité, à moins de laisser les microscopes complètement libres dans leurs colliers, ce qui pourrait avoir d'un autre côté des inconvénients.

Je signalerai enfin un petit inconvénient que présentent les divisions de l'échelle; elles ne sont pas parfaitement perpendiculaires à l'axe, en sorte que lorsque les fils parallèles des microscopes ont été amenés à être horizontaux en les rendant parallèles aux couteaux, ils sont inclinés aux divisions. Il faut par conséquent avoir soin de mesurer toujours, soit en haut, soit en bas, sur la même ligne verticale, pour éviter les erreurs qui pourraient résulter de cette inclinaison.

J'ai fait 20 mesures complètes de la distance de couteaux, en entendant par une mesure complète la distance entre les couteaux obscurs et celle entre les couteaux éclairés; j'ai trouvé la distance entre les couteaux obscurs en général un peu plus grande que celle entre les couteaux éclairés, en moyenne de $0^{l},00068$, ce qui peut tenir à un effet d'irradiation; j'ai pris pour le résultat de chaque jour la moyenne des deux mesures.

[1] L'influence du corps de l'observateur sur le comparateur est bien plus grande, à cause de la proximité; en visant alternativement sur le couteau et sur l'échelle, puis de nouveau sur le couteau, on diminuera certainement l'erreur, mais sans l'annuler, puisque l'on ne peut pas être sûr que la dilatation du comparateur soit proportionnelle au temps.

L'échange dans la position des couteaux m'a donné de petites différences pour la valeur obtenue; j'ai désigné par A, B, C, D les quatre ajustements différents, savoir:

Ajustem^t A { La marque • du couteau correspond à la marque de la monture •
» •• » » » » ••

Ajustem^t B { Les couteaux sont retournés bout à bout dans leur monture sans que les marques des couteaux et des montures correspondent.

Ajustem^t C { Les couteaux sont échangés de montures, sans que les marques correspondent.

Ajustem^t D { La marque • du couteau correspond à la marque • • de la mont.
» •• » » » • »

J'ai trouvé pour la distance des couteaux (observat. de novemb. à avril).

Ajustement	A,	8 observations,	$248^l,47643$	$\pm\ 0^l,00034$
»	B,	4 »	47463	$\pm\ 0^l,00013$
»	C,	4 »	47375	$\pm\ 0^l,00011$
»	D,	4 »	47641	$\pm\ 0^l,00045$

Les différences d'un ajustement à l'autre sont bien plus grandes que l'erreur que l'on peut attribuer à chaque résultat, d'après l'accord des mesures individuelles; les différences tiennent-elles à la manière de serrer les vis qui tiennent les couteaux? J'ai suivi la recommandation de M. Repsold de ne pas les serrer trop fortement; je serais curieux de savoir si dans son opinion des différences de 0,001 peuvent provenir de la manière de serrer les vis, ou si l'adaptation des couteaux dans les montures est plus ou moins parfaite dans tel ou tel ajustement.

J'ai fait aussi quelques expériences sur l'écrasement des couteaux; lorsque le pendule repose de tout son poids sur le couteau supérieur, au lieu d'être mis simplement en contact par un petit poids additionnel, on remarque un léger abaissement dans le couteau inférieur. Les mesures m'ont donné de 1^p à 1^p 5 du micromètre, soit environ $0^l,0003$; je n'ai pas tenu compte de cette quantité qui est négligeable, et dont une petite fraction seulement altérerait la longueur du pendule pendant l'oscillation, relativement à celle qu'il a pendant les mesures, puisque pendant ces dernières il repose également de tout son poids.

Je pense ensuite qu'il faudrait insister auprès de M. Repsold pour avoir la comparaison de l'échelle avec un étalon connu, la toise de Schuhmacher, par exemple. Il est en effet à supposer qu'après avoir tracé les divisions, M. Repsold l'aura comparée avec l'un des étalons à sa disposition; il importerait de savoir à quelle fraction près l'intervalle compris entre le 0 et la division 248,4 ou 248,5 s'accorde avec cet étalon.

Enfin, puisque l'échelle est divisée en lignes, mesure de Paris, j'ai supposé que c'était à $16^1/_4$ centigr. qu'elle avait la longueur réelle correspondant au nombre de lignes, et c'est par conséquent à cette température que j'ai réduit la durée d'oscillation observée, en prenant pour cœfficient de dilatation 0,00001878 par degré centrigade. Il serait bien de s'assurer directement auprès de M. Repsold de deux choses: 1° si c'est bien à $16^1/_4$ C que son échelle a la longueur exprimée par le nombre de lignes indiqué sur la division; 2° si 0,00001878 par degré centigrade est bien le cœfficient de dilatation qu'il faut employer pour l'alliage dont il s'est servi pour la tige du pendule. Le cœfficient de dilatation varie un peu avec la composition des métaux qui entrent dans l'alliage, et M. Repsold pourrait mieux que personne nous renseigner là-dessus, d'autant plus que je n'ai aucun moyen de déterminer directement le cœfficient de dilatation de la tige du pendule. Les observations de la durée d'une oscillation n'ont pas une exactitude suffisante pour déterminer le cœfficient de dilatation par la comparaison de la durée à différentes températures; il est préférable en outre de ne pas introduire cet élément comme une inconnue dans la détermination, mais de prendre une valeur déterminée directement et d'une manière indépendante. Dans ma première série d'expériences, la température a varié entre les limites de + 1°, 8 à + 19°, 0 C, différence qui, avec le cœfficient de dilatation 0,00001878, produit une différence de $^1/_{6200}$ sur la durée d'une oscillation; le résultat obtenu par les observations d'un jour, faites dans les quatre positions différentes, suivant lesquelles le pendule peut être suspendu, est exact en moyenne à $^1/_{40000}$ près, il ne serait par conséquent pas possible de constater par ces observations une erreur du cœfficient de dilatation qui s'élèverait à un dixième de sa valeur.

Ce cœfficient peut s'obtenir directement avec une exactitude bien plus grande; cependant cet élément a bien quelque importance, parce que l'on ne peut pas faire en sorte que dans la moyenne d'une série d'expériences faites dans la même localité, la moyenne des températures pendant les expériences coïncide très près avec 16 $^1/_4$. En supposant que la température moyenne pendant une série d'expériences diffère de 5° de 16 $^1/_4$, une erreur de $^1/_{50}$ sur le cœfficient de dilatation produirait une erreur de près d'un millième de ligne sur le résultat cherché, c'est-à-dire la longueur du pendule simple battant la seconde.

2° Détermination de la durée d'une oscillation. — A défaut d'un autre pendule à l'aide duquel on puisse employer la méthode des coïncidences, il faut déterminer la durée d'une oscillation par l'intervalle de temps employé pour un nombre donné d'oscillations, et la question essentielle est de savoir dans quel rapport l'erreur sur la détermination de cet intervalle augmente avec sa longueur, et, par conséquent, quel est l'intervalle le plus favorable. Dans une première série d'expériences, séries complètes puisqu'elles ont été faites dans chacun des ajustements des couteaux, et en suspendant chaque fois le pendule dans les quatre positions possibles, j'avais pris l'intervalle employé par 500 oscillations, savoir 6^m 16' environ, le commencement et la fin de cet intervalle étaient déterminés par l'enregistrement chronographique de 100 passages du pendule par la verticale, observés dans une lunette placée à 6 mètres de distance environ. Par la moyenne des 100 passages, on réduit les erreurs accidentelles sur l'observation d'un passage, et, par suite, sur le commencement et la fin d'un intervalle à quelques millièmes de seconde; mais il n'en résulte pas que l'intervalle lui-même puisse être obtenu avec la même précision, parce que la variation de l'erreur physiologique peut être de 1, 2 ou 3 centièmes de seconde dans un laps de temps de quelques minutes, pendant lequel l'attention de l'observateur a été occupée d'une manière différente. D'après les expériences que j'ai faites avec M. Hirsch, nous avons trouvé que dans les passages d'étoiles,

notre équation personnelle variait par suite de l'élément physiologique d'un peu plus de 3 centièmes de seconde pour chacun, d'une étoile à l'autre, et le même résultat a été trouvé d'une série à l'autre pour les observations chronoscopiques. Dans les passages du pendule devant le fil de la lunette, la variation de l'erreur physiologique est probablement moindre que pour les passages d'étoiles ou pour celui de l'étoile artificielle avec le chronoscope, à cause de la rapidité du mouvement; cependant, en comparant les différentes observations, cette variation peut bien s'élever en moyenne à 2 centièmes de seconde environ, ce qui introduit une erreur de 0,00004 sur la durée d'une oscillation, soit d'environ $^1/_{20000}$, c'est-à-dire une erreur de $^1/_{10000}$ dans la longueur du pendule. A cette cause d'erreur vient s'ajouter celle provenant de la marche de la pendule chronographique, lorsque c'est un instrument auxiliaire qui trace les secondes sur le chronographe et non la pendule normale elle-même. A Genève, où c'est une pendule auxiliaire qui est comparée à la pendule normale en enregistrant un certain nombre de battements de cette dernière sur le chronographe, l'élément physiologique intervient de nouveau; si l'on calcule la marche relative à l'aide de toutes les comparaisons faites dans l'espace de une ou deux heures, je trouve des écarts s'élevant en moyenne à un peu plus d'un centième de seconde entre le résultat calculé et le résultat observé pour l'une des comparaisons. J'avais pensé pendant quelque temps que ces écarts pouvaient provenir d'une irrégularité dans la marche de la pendule chronographique, et que pour cette raison il valait mieux calculer la correction de la pendule chronographique par les comparaisons faites immédiatement avant et après une série de passages observés. Cependant un examen plus approfondi de ces écarts m'a prouvé qu'ils ne pouvaient pas être attribués à une irrégularité de la pendule chronographique, qui aurait marché plus vite ou moins vite de 1 à 2 centièmes de seconde dans un intervalle de six minutes, mais qu'ils étaient dûs plutôt à une erreur physiologique dans la perception par l'ouïe des battements de la pendule normale et dans le mouvement correspondant du doigt sur le levier clef. Ces écarts ne suivent en

effet aucune loi régulière, comme celle qui résulterait d'une accélération ou d'un retard dans la marche de la pendule, ils sont complètement irréguliers; or, il n'y a aucune raison de ne pas admettre que de l'une des comparaisons à l'autre il n'y ait pas une variation physiologique, par suite de laquelle une série de signaux serait accélérée ou retardée d'un centième de seconde. Si l'on attribue ces écarts à une variation physiologique d'une comparaison à l'autre, s'élevant en moyenne à un centième de seconde, l'incertitude sur la marche de la pendule chronographique est réduite à une quantité pour ainsi dire insensible, c'est-à-dire à un millième de seconde pour un intervalle de six minutes.

Ce serait donc la variation physiologique dans l'observation des passages du pendule entre le commencement et la fin d'une série d'oscillations qui serait la cause principale et pour ainsi dire unique de l'erreur dans la durée de l'intervalle, et par suite dans la durée d'une oscillation. Si, pour l'observation des passages du pendule dans la verticale, il en est de même que pour l'observation des étoiles, c'est-à-dire que la variation physiologique n'est guère plus grande d'une heure à l'autre, ou d'un jour à l'autre, que d'une étoile à l'autre; donc pour un intervalle de quelques minutes, il y aura un très grand avantage à prendre un intervalle aussi grand que possible entre le commencement et la fin d'une série d'oscillations, pourvu que d'autres causes d'erreur ne s'introduisent pas. Ces causes seraient: 1° les chances d'incertitude et d'irrégularité dans la marche de la pendule chronographique, qui tendent naturellement à s'accroître avec le temps; on peut moins facilement supposer une marche uniforme pendant trois à quatre heures que pendant une heure. Cependant je ne crois pas que l'incertitude sur la marche de ma pendule chronographique puisse en aucun cas atteindre un centième de seconde dans l'espace de 30 à 40 minutes; cette cause d'erreur ne peut par conséquent pas avoir d'inconvénient appréciable; 2° les causes d'erreur provenant de variations dans la température, et, par suite de l'incertitude sur la réduction, à une température constante; ces erreurs ne sont pas à redouter à Genève, où les variations de tempéra-

ture sont très-faibles dans la salle où est placé le pendule; 3° les causes d'erreur provenant de la mesure de l'amplitude et de la réduction à un arc infinement petit. Il faut dans ce cas mesurer à plusieurs reprises l'amplitude pendant une série d'oscillations, de manière à obtenir exactement la réduction moyenne à l'arc infinement petit. Dans l'appareil de Repsold, l'arc divisé sur lequel on lit l'amplitude n'est pas placé d'une manière très favorable, et la lecture de la division ne se fait pas facilement, ni très sûrement, surtout en ayant égard à la rapidité du mouvement. Le passage du pendule dans la verticale s'observe par le passage sur le fil de la lunette d'un point noir que j'ai fait sur la monture en laiton du couteau; en ajustant l'oculaire de façon que ce point noir soit au foyer, on ne voit pas distinctement l'arc divisé qui est passablement en arrière, et sur la distance de quelques mètres à laquelle est placée la lunette, la différence est assez grande pour que l'observation soit assez difficile et qu'elle ne puisse se faire avec une exactitude plus grande qu'à un tiers environ de l'intervalle compris entre deux divisions, c'est-à-dire à 3 ou 4 minutes près. Il serait préférable que l'arc divisé soit fixé en avant, entre le pendule et l'observateur et aussi près que possible de la monture du couteau. Malgré cet inconvénient, je crois qu'en multipliant suffisamment les lectures de l'amplitude, on pourra réduire l'incertitude sur la réduction à l'arc infiniment petit à 1 ou 2 millionnième de seconde.

Je viens de commencer une nouvelle série d'expériences, dans lesquelles l'intervalle entre le commencement et la fin des oscillations est de $35^m\ 30^s$, ce qui donne 2828 oscillations, et je pourrai m'assurer ainsi des avantages qu'offre cet intervalle, plus long au point de vue de l'exactitude, et si les variations physiologiques restent comprises entre les mêmes limites à peu près que pour un intervalle plus court.

Je ne pense pas qu'eu égard à la variation physiologique il soit possible de déterminer un intervalle de temps entre le commencement et la fin des oscillations à beaucoup moins de deux centièmes de seconde près en moyenne; pour un observateur très habile, et qui se trouverait dans les conditions physiologiques les plus favorables, l'erreur pourrait peut-être

être réduite à un centième au minimum, ce qui sur un intervalle de 6^m fait un peu plus de $^1/_{40000}$. Cette erreur est encore trop considérable, et pour obtenir la longueur du pendule simple avec une exactitude suffisante, il faudrait multiplier démesurément les observations, ce qui entraîne un travail énorme par le nombre de signaux chronographiques à relever. Dans les observations que j'ai faites jusqu'à présent, l'erreur moyenne sur un intervalle est en moyenne de 2 centièmes de seconde, ce qui donne $^1/_{20000}$ sur la durée d'une oscillation. Or, une correction très importante est celle qui dépend de la différence entre la durée d'une oscillation suivant les deux modes de suspension (savoir la masse pleine en haut, ou en bas), cette correction tenant soit à l'influence de l'air, soit à une petite imperfection dans la construction de l'instrument.

Pour notre pendule j'ai trouvé par la moyenne de 12 déterminations complètes une durée plus longue de $^1/_{5000}$, lorsque la masse pleine était en haut, c'est-à-dire le centre de gravité étant le plus rapproché du point de suspension; mais cette détermination n'est exacte qu'à $^1/_{18}$ ou $^1/_{19}$ près de sa valeur; et il ne peut pas en être autrement, puisque la différence à trouver est une fraction qui n'est guère que 4 fois plus grande que l'incertitude des observations. Or, comme j'ai trouvé que la distance du centre de gravité au couteau le plus rapproché est de $87^l,4$ et au couteau le plus éloigné de $161^l,1$ il en résulte que la correction à apporter à la distance des couteaux, pour avoir la longueur du pendule simple oscillant dans le même temps dans le vide, est de

$\pm$ 0^l 112, masse pleine en bas

$\pm$ 0 207, masse pleine en haut

avec une incertitude de $^1/_{18}$ environ. Cette incertitude correspond à plus d'un centième de ligne sur la longueur du pendule simple oscillant dans une seconde de temps moyen, et par conséquent elle dépasse de beaucoup les limites de l'incertitude permise; je ne puis par conséquent envisager le résultat que j'ai obtenu par cette première série d'expériences, savoir 440^l 31 que comme un résultat provisoire et approximatif. Il me reste à examiner si la nouvelle série d'expérien-

ces que j'ai commencée, en prenant des intervalles de temps plus longs, donnera des résultats plus exacts en proportion, c'est-à-dire réduira l'erreur à $^1/_5$ ou à $^1/_6$. Dans ce cas on pourrait, avec le même nombre de déterminations, une douzaine environ, calculer la correction à un centième de sa valeur près; cette approximation est nécessaire pour arriver à une exactitude suffisante.

Comme la détermination du centre de gravité du pendule, et sa distance à chacun des couteaux est un élément important, je suis étonné que M. Repsold n'ait pas ajouté à l'appareil les accessoires nécessaires à cette détermination. Le moyen le plus simple et d'une exactitude suffisante, est d'équilibrer le pendule sur le tranchant d'un couteau; il est vrai qu'il est facile de dresser une lame en laiton taillée en bizeau, qui puisse être fixée sur une table; mais enfin il aurait été plus commode de trouver cet accessoire tout préparé dans la caisse. Ce qui aurait été encore plus nécessaire, c'est une échelle ayant environ 172 lignes de longueur, munie de languettes mobiles, et dont la position sur l'échelle aurait été déterminée à l'aide de verniers; on pourrait ainsi en faisant affleurer une de ces languettes avec la lame sur laquelle le pendule est équilibré et l'autre avec l'un ou l'autre des couteaux alternativement, mesurer à $^1/_{50}$ de ligne près les distances du centre de gravité à chacun des couteaux. Avec une simple règle qui n'est pas construite et arrangée dans ce but, on peut tout au plus obtenir cette distance à l'estimation à un dixième ou à un sixième de ligne près, c'est-à-dire déterminer la distance du centre de gravité au centre de figure (milieu entre les deux couteaux) à $^1/_{300}$ près environ. Cette incertitude est certainement bien plus faible que celle dont est affectée la différence entre les durées d'oscillation dans les 2 positions du pendule, mais il n'y aurait que de l'avantage à la rendre aussi petite que possible. Je crois que sans envoyer à M. Repsold l'appareil, dont il possède sans doute le modèle, il pourrait construire une règle munie de languettes à verniers pour remplir ce but. Je l'aurais bien fait exécuter à Genève, seulement je ne suis pas assez sûr des étalons pour la division en lignes.

La commission, en remerciant M. Plantamour de son intéressant rapport, le prie de continuer ses expériences, et lorsqu'elles seront terminées d'envoyer l'appareil à l'observatoire de Neuchâtel.

M. *Wolf* fait remarquer qu'on s'est déjà adressé une fois inutilement à M. Repsold, pour avoir la correction de la longueur de l'échelle du pendule, laquelle ne paraît pas avoir été déterminée par le constructeur avant l'expédition de l'instrument.

M. *Denzler* demande si l'on ne pourrait pas l'obtenir au moyen du nouveau comparateur qui doit être monté à Berne dans l'hôtel fédéral de la monnaie.

M. *Hirsch* répond que cet instrument n'est pas encore complètement achevé et qu'il ne le sera que dans quelques mois. D'ailleurs, on ne pourrait y comparer notre échelle de pendule qu'à un mètre type en laiton, que la Commission fédérale des poids et mesures s'est procuré dernièrement et qui a été comparé au prototype du conservatoire des arts et métiers, et par conséquent indirectement à celui des archives de Paris. Or, ni l'état de ce dernier, ni l'exactitude du comparateur mis à la dispositon de MM. Mousson et Wild à Paris, ne permettraient de déterminer par cette voie très indirecte, la valeur de notre échelle de pendule en lignes de la Toise du Perou. Si cela est possible, il préférerait de la comparer directement à la Toise de Schuhmacher, et il propose d'envoyer l'échelle à M. Repsold, ce qui peut se faire sans difficulté, et de le prier de déterminer son équation avec la Toise de Schuhmacher ou la sienne, si toutefois il dispose d'un comparateur suffisamment exact, comme cela est probable. La commission prie M. Wolf de bien vouloir demander à M. Repsold s'il veut se charger de cette comparaison, et de lui communiquer les autres désidérata contenus dans le rapport de M. Plantamour.

Sur la demande du Président, M. *Hirsch* lit le rapport suivant sur le nivellement suisse, l'instrument, la méthode et le plan des opérations.

Monsieur le Président et Messieurs,

Les fonds demandés par notre commission pour l'exécution du grand nivellement de précision ayant été accordés par l'Assemblée fédérale, un instrument de nivellement avec deux mires parlantes fut immédiatement commandé à M. Kern d'Aarau. Vous avez été consultés dans le temps par une lettre circulaire de M. le Président, et vous étiez d'accord sur le principe de construction de ces appareils. Chargé plus spécialement de m'entendre pour les détails avec le constructeur et d'examiner l'instrument qui a été livré il y a quelques semaines, j'ai l'honneur de vous rendre compte aujourd'hui des expériences auxquelles je l'ai soumis, de vous fournir des données sur l'exactitude probable des mesures qu'il permet d'atteindre, et de vous proposer le mode d'opérations et de calculs qui, d'après un petit essai fait la semaine dernière par M. Plantamour et moi, nous semble le meilleur. Enfin, j'y ajouterai quelques propositions sur le plan de campagne de cette année.

§ 1. — Appareils

Afin que notre nivellement réponde à son but, nous avons posé en principe que l'erreur d'un coup de niveau ne devait pas dépasser un millimètre à une distance de 100^m, ce qui donne $2''$ d'arc pour limite d'erreur. Pour y arriver il fallait se servir et d'une lunette plus forte et d'un niveau plus sensible que ceux employés à l'ordinaire pour les nivellements; il fallait rendre libres la lunette et le niveau pour donner à l'observateur la possibilité de déterminer à chaque instant les corrections instrumentales; et cependant pour que ces corrections ne deviennent pas trop variables et afin de pouvoir transporter facilement l'instrument sans le démonter, il importait de le construire solidement et de rendre toutes ses parties solidaires les unes des autres. Enfin, il fallait apporter des soins tout particuliers à la division des mires parlantes.

Je suis heureux de pouvoir constater que M. Kern, en qui la Suisse possède un artiste mécanicien d'un grand mérite, a

rempli toutes ces conditions à notre satisfaction et que ses appareils, avec de légères modifications, que je vous proposerai, répondent parfaitement aux exigences de notre entreprise.

L'instrument repose sur trois vis calantes, pour lesquelles nous avons adopté l'excellent système de M. Wild de Zurich.

Ces vis sont terminées par des sphères qui entrent dans des calottes hémisphériques fixées au trépied ; en serrant des crochets 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 dans ses coussinets et le niveau sur les tourillons de la lunette, de sorte qu'on peut transporter tout l'instrument de station en station sans le démonter. Et cependant la lunette est libre dans ses coussinets, de sorte qu'on peut la retourner bout par bout, afin de déterminer le défaut de parallélisme entre l'axe de figure de la lunette et la ligne de niveau, défaut dû à l'inégalité des deux tourillons. En la tournant de 180° autour de son axe et faisant la lecture de la mire dans les deux positions, on mesure facilement la collimation de l'axe optique, provenant du défaut de centrage. Quant à la première de ces deux corrections, à laquelle on ne peut pas remédier, je me suis convaincu par de nombreux essais que l'artiste a obtenu une égalité très satisfaisante des deux tourillons, variables seulement dans des limites très étroites, par suite de l'échauffement inégal de l'instrument. Cette cause ainsi que d'autres circonstances font varier un peu plus la collimation de l'axe optique, qui peut se corriger au moyen de vis qui déplacent le réticule. Je me suis cependant convaincu que dans le courant d'un jour elle ne varie pas au-delà de 0″ 4, et il sera facile de la déterminer chaque jour.

Du reste, nous suivrons en général la méthode du nivellement par *le milieu*, avec laquelle les erreurs de l'axe optique n'ont aucune influence sur le résultat, si les deux mires se trouvent exactement à la même distance de l'instrument; mais, lors même qu'il y aura une différence de dix mètres entre ces deux distances, une erreur de deux secondes dans l'axe optique — et d'après ce que je viens de dire, cette limite sera rarement atteinte, — ne produirait sur le résultat

qu'une erreur de 0^{mm} 1, donc parfaitement négligeable. Enfin si le terrain oblige, comme cela a lieu dans les routes de montagnes, à des différences de distance plus notables, on éliminera par le calcul les erreurs de l'axe optique qui, dans ce but, doivent être déterminées chaque jour.

Mais afin de pouvoir le faire et pour tenir compte en même temps, par le calcul, de l'inclinaison de la lunette indiquée par le niveau, il faut connaître la distance de la mire pour chaque coup de niveau. Il m'a semblé qu'on obtiendrait cet élément nécessaire de la manière la plus pratique au moyen d'un micromètre qui permettrait de mesurer l'angle sous lequel paraît un centimètre de la mire à chaque distance donnée. Ce micromètre offrirait en même temps le grand avantage de pouvoir mesurer les fractions des centimètres tracés sur la mire et de fournir ainsi un contrôle précieux pour la simple estimation du millimètre.

J'ai donc fait ajouter à la lunette, dont l'excellent objectif de Merz a 14''' 5 d'ouverture sur 14'' 4''' 5 de distance focale, un fil mobile horizontal, conduit par une vis micrométrique, dont le tambour est divisé en cent parties. La finesse du pas de vis est telle qu'une partie du tambour correspond à 1'',4; et la lunette, avec son grossissement de 39, est assez forte pour qu'on puisse pointer sur un trait de la mire avec une erreur moyenne qui reste au-dessous d'une partie du micromètre; car de nombreux essais que j'ai faits à des distances variant de 10 à 100 mètres, m'ont donné pour erreur moyenne d'un pointage $\pm$ $08^{p},7$ = $\pm$ 1'',22. En plaçant la mire à des distances de 10, 20, 30.... jusqu'à 100 mètres, et en pointant sur un grand nombre de traits successifs, j'ai vérifié en même temps l'exactitude de la division des mires. Ces mires, qui ont trois mètres de longueur, sont faites en bois de sapin très sec, et divisées en centimètres. Pour exécuter cette division M. Kern a tracé d'abord les traits au moyen de son excellente 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 restent complètement dans les limites des erreurs d'observation. Vous pourrez vous en convaincre par les erreurs moyennes qu'on commet en

mesurant, au moyen du micromètre, 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 de la mesure d'un centimètre.*	
mètres.	p.	mm.
10	± 1,28	± 0,07
20	1,37	0,18
30	1,00	0,20
40	1,33	0,36
50	1,05	0,37
60	1,07	0,44
70	1,40	0,67
80	1,09	0,59
90	1,21	0,74
100	1,08	0,56

Vous voyez ainsi qu'à 50^m on mesure le millimètre à un tiers de millimètre près et même à 100^m à un demi millimètre près environ. On comprend facilement que de cette manière l'instrument peut servir en même temps à mesurer la distance entre la mire et le niveau, d'après le nombre des parties du micromètre qu'embrasse un centimètre de la mire. En pointant sur les deux traits du centimètre, entre lesquels le fil fixe de la lunette est placé, et sur ce fil lui-même, on obtient donc à la fois la cote de niveau et la distance de la mire, dont on a besoin pour corriger la lecture en raison de l'inclinaison et des erreurs instrumentales. Les distances sont obtenues avec une exactitude plus que suffisante pour atteindre ce but; car jusqu'à 10^m on est sûr du décimètre, jusqu'à 40^m on obtient la distance à 1^{mm} près, jusqu'à 50^m à 2^{mm} près. Je me suis servi également du micromètre pour apprécier l'exactitude avec laquelle on peut évaluer le millimètre à des distances différentes, en comparant le résultat de l'évaluation avec celui de la mesure micrométrique. Je me suis convaincu ainsi qu'on évalue le millimètre jusqu'à la distance de 100^m avec une erreur moyenne de $\pm 1'',55$. L'exactitude de l'éva-

luation étant ainsi d'un quart de millimètre en moyenne seulement, on pourrait se dispenser dans les cas ordinaires de la mesure micrométrique. Cependant comme il faut déjà pointer sur les deux traits entre lesquels le fil fixe est compris, il sera utile de pointer aussi sur ce dernier, car on obtient ainsi un contrôle très précieux par l'accord qui doit exister entre les fractions de centimètres obtenues par évaluation et par mesure. Seulement je me suis aperçu que dans ce but il conviendra de remplacer le fil mobile unique par deux fils parallèles dont l'intervalle sera bisecté par le fil fixe. On évitera ainsi l'incertitude presque double qui provient de ce qu'on doit couvrir le fil fixe par le fil mobile. Enfin, dans le second instrument il faudrait recommander à M. Kern de rapprocher un peu plus les fils mobiles du plan de foyer; en même temps il est à désirer que la vis micrométrique ait moins de temps perdu. Vous voyez donc de toute manière que sous le rapport optique et mécanique l'instrument remplit les conditions d'exactitude que nous nous étions proposé d'obtenir, et que même il les dépasse.

J'ajouterai seulement que l'étalon de M. Kern qui a servi à la division des mires sera comparé au mètre normal de Berne, aussitôt que le comparateur de précision sera installé définitivement au bureau fédéral des poids et mesures. Nous connaîtrons alors la correction totale de la longueur de nos mires, qui très probablement sera aussi négligeable que le sont les erreurs de division.

Pour être en mesure de choisir le niveau le plus convenable, nous en avons demandé plusieurs, deux de Repsold et deux d'Ertel, de sensibilité différente, mais toujours très grande en comparaison des niveaux qu'on emploie ordinairement. Je les ai vérifiés tous au moyen de notre cercle méridien et je les ai trouvés parfaitement exacts sauf dans les derniers traits qui ne servent presque jamais. La valeur d'une division est

pour le n°	I	de Repsold 1P	1″,56
	II	»	1,63
	III	d'Ertel	1,76
	IV	»	3,00

L'expérience m'a montré que, dans la plupart des cas, on pourra se servir du quatrième seulement avec avantage, les autres étant trop sensibles; car le moindre vent, un rayon de soleil les maintient en mouvement continuel. Et même le quatrième demande un maniement assez délicat et exige par exemple qu'on tienne toujours l'instrument à l'ombre; j'ai fait faire dans ce but un parasol convenable. La sensibilité de ce niveau est bien au-dessous d'une seconde, et comme chaque division a presque une ligne de longueur, on évalue facilement les dixièmes, c'est-à-dire 0″ 3.

La correction du niveau lui-même ou plutôt de sa monture est un des éléments les plus variables de l'instrument, ce que j'attribue essentiellement au système de vis antagonistes, par lesquelles s'opère la correction, et qui ne manque presque jamais de produire une tension dans la coulisse mobile. Il serait à désirer que pour le second instrument on les remplaçât par une seule vis de correction, qui serait mise hors de jeu par des vis de pression, une fois la correction obtenue. Cependant, en déterminant cette correction chaque jour, ou plutôt chaque fois qu'on déballe l'instrument, au commencement et à la fin d'une série d'opérations, et en appliquant la moyenne des deux déterminations du matin et du soir à tous les coups de niveau intermédiaires, on ne risque de commettre qu'une erreur moyenne de $\pm 0'',726 = \pm 0^{p},242$, ce qui est dans les limites de la sensibilité du niveau. Je mentionne à cet endroit que l'instrument est muni d'une vis d'élévation très fine qui permet de le caler facilement à 1″,5 près.

Enfin l'expérience nous ayant montré une source d'erreur considérable dans l'opération du retournement de la mire sur elle-même, lorsque le terrain n'est pas parfaitement uni et horizontal, j'ai fait, d'accord avec M. Plantamour, ajouter au bas de la mire un talon en fer, de forme conique, qui entre dans un trou correspondant d'une plaque en fonte, que le porte-mire jette sur le sol et sur laquelle il place et tourne la mire. En outre, comme il est presque impossible de tenir droites et immobiles des mires de trois mètres de hauteur, si le vent est tant soit peu fort, j'ai fait faire par M. Kern un trépied, dans lequel on serre la mire au moyen d'un coin,

une fois qu'on l'a rendue verticale, à l'aide du fil à plomb et d'un niveau à boite.

Après avoir examiné et déterminé par expérience toutes les erreurs qui peuvent exercer leur influence sur un coup de niveau, nous pourrons en chercher l'exactitude probable. Si l'on visait à chaque coup de niveau dans les quatre positions possibles de la lunette, en retournant chaque fois le niveau, on obtiendrait un résultat complètement indépendant de toutes les corrections instrumentales, et qui ne serait affecté que de l'incertitude de la vision et des erreurs de division des mires. Mais un tel procédé serait nécessairement long, chaque coup de niveau exigerait presque une demi-heure. En nivelant par le milieu ou bien, là où cela est impossible, en tenant compte par le calcul des erreurs de l'axe optique, déterminées deux fois par jour, on atteint le même résultat en se bornant à viser dans la position normale de la lunette. Si, en outre, on se contente de déterminer la correction du niveau au commencement et à la fin d'une série de mesures faites consécutivement, voici les différentes erreurs à craindre: Nous avons trouvé $\pm$ 1",22 comme erreur moyenne d'observation d'un trait (ce qui comprend les erreurs des mires); or, comme il faut pointer trois fois pour mesurer la fraction du centimètre, on a:

Erreur d'observation et de division	$\pm$ 2",07
Incertitude de la correction du niveau	$\pm$ 0 ,73
Erreur de lecture du niveau	$\pm$ 0 ,42
Erreur moyenne totale	$\pm$ 2",22
Erreur probable	$\pm$ 1",49

Si l'on calcule l'effet de cette erreur d'un coup de niveau à différentes distances, on obtient les valeurs suivantes, exprimées en millimètres et dans lesquelles on a ajouté 0, 2 millimètres pour tenir compte du déplacement des mires dans le sens vertical par suite de leur retournement.

Distance.	*Erreur probable d'un coup de niveau.*
mètres.	mm.
10	0, 28
20	0, 35
30	0, 43
40	0, 49
50	0, 56
60	0, 64
70	0, 71
80	0, 79
90	0, 86
100	0, 92

On voit ainsi que l'incertitude reste au-dessous d'un millimètre, même à une distance de 100^m, et qu'elle n'est que d'un demi millimètre environ à celle de 50^m. Maintenant, comme nos chemins de fer eux-mêmes ont, pour la plupart, des pentes de 1 à 2$^0/_0$, et quelquefois jusqu'à 3$^0/_0$, on se bornera ordinairement en nivelant le long des chemins de fer à des coup s de niveau simples de 50^m (ce qui correspond à des distances de station de 100^m); sur les routes de la plaine, on aura en moyenne des coups de niveau de 25^m, dans les routes de montagnes de 10^m.

De cette manière, on peut prévoir pour le nivellement d'un kilomètre le long des chemins de fer, à dix coups de niveau doubles, une erreur de . . . . . ± 2, 5 millimètres
le long des routes de la plaine, à 20 coups. . . . . 2, 5 »
le long des routes de montagnes, à 50 coups. . . . . 2, 8 »

Il est probable que, dans la pratique, les erreurs seront dépassées un peu, à cause d'autres sources d'erreur accidentelles, comme l'enfoncement ou le défaut de verticalité des mires, le dérangement de l'équilibre de l'instrument pendant l'opération, etc. Un nivellement d'essai, embrassant $^2/_3$ de kilomètre sur un terrain des plus accidentés, et que nous avons répété trois fois, nous a donné les trois valeurs:

7^m 3588
7 3548
7 3538

dont la première mérite peu de confiance, parce qu'elle a été obtenue dans de très mauvaises conditions de vents et de soleil, avant que j'eusse parasol et trépied pour la mire. Ces résultats confirment donc pleinement la prévision théorique de l'incertitude des résultats. Mais, en supposant l'erreur augmentée même du double, on voit qu'on peut niveler le kilomètre avec une incertitude d'un demi centimètre environ. D'après cela, on pourra niveler toute la Suisse, d'un bout à l'autre, avec une erreur qui ne dépassera pas sensiblement un décimètre, ce qui serait impossible avec toute autre méthode.

§ 2. — **Méthode d'opération et de calcul.**

Pour être sûr d'obtenir en réalité dans les résultats toute l'exactitude que les instruments permettent d'atteindre, il me semble qu'il faut partir de deux principes:

1° L'observation et le calcul sont complètement séparés; les observations sont confiées à des ingénieurs, qui les exécutent d'après un règlement adopté par la commission et qui envoient tous les jours les feuilles d'observation au membre de la commission chargé de leur réduction;

2° Partout où la chose est possible, les lignes de nivellement formeront des polygones et fourniront ainsi, en se fermant, un contrôle absolu. Les lignes qui ne pourront pas être comprises ainsi dans des polygones doivent être nivelées deux fois, d'une manière complétement indépendante. Les polygones doivent se fermer avec une différence au-dessous de $\pm 3^{mm} \sqrt{k}$, si k est le nombre de kilomètres compris dans le contour du polygone. La même limite d'erreur est admise pour l'accord entre deux nivellements d'une même ligne. Partout où ces limites d'erreur sont dépassées, il faut recommencer l'opération jusqu'à ce qu'un résultat satisfaisant soit obtenu.

Comme cette dernière disposition implique, cas échéant, la nécessité de recommencer le nivellement de tout un polygone pour trouver une erreur commise dans un seul point peut-être, on pourrait se demander s'il ne vaudrait pas mieux faire faire toute l'opération à double, et la diviser en petites sections (d'un kilomètre, par exemple) au moyen de repères qui permettraient de circonscrire immédiatement la région où l'erreur a été commise. Il nous a semblé cependant qu'en voulant ainsi doubler tout le travail, on prolongerait notre besogne outre mesure; que la séparation des fonctions d'observateur et de calculateur est une forte garantie contre les inexactitudes; que le désaccord entre les cotes évaluées et celles obtenues par le micromètre, permettra de découvrir, dans la plupart des cas, les endroits où l'erreur a été commise; que partout où l'on nivellera le long des chemins de fer, la comparaison avec les nivellements de ces derniers pourra servir à découvrir du moins les grandes erreurs; et enfin, que si malgré toutes ces précautions, on ne peut découvrir l'erreur autrement qu'en recommençant toute l'opération, on s'expose, pour un cas spécial seulement, à un inconvénient qu'on rendrait général en décidant en principe de faire tout le travail à double.

Voici maintenant les articles essentiels du règlement que je propose à la commission d'arrêter pour les opérations de nivellement:

1° Le nivellement de précision de la Suisse sera exécuté sous la direction et surveillance spéciales de deux membres de la commission géodésique, qui sont chargés de la réduction des observations et qui feront rapport à la commission sur les résultats de chaque campagne;

2° La commission géodésique nomme deux ingénieurs à chacun desquels elle fournit un appareil complet, l'instrument à niveler, mire, etc; ces ingénieurs s'engagent à exécuter les opérations d'après les dispositions du règlement suivant et selon les directions qu'ils recevront;

3° Le nivellement se fait autant que possible depuis le milieu, c'est-à-dire l'observateur aura soin que dans le même coup de niveau les deux stations consécutives de la mire

soient à des distances de l'instrument aussi égales que possible, la différence ne devant pas dépasser 10 mètres dans les conditions ordinaires de terrain ;

4° Les coups de niveau se donneront en moyenne aux distances suivantes:

a) sur les chemins de fer dont les rampes ne dépassent pas 1 $^0/_0$, à 100 mètres ;

b) sur les chemins de fer à plus fortes rampes de 50 à 100^m;

c) sur les grandes routes de la plaine de 25 à 50^m;

d) sur les routes de montagnes de 10 à 25^m.

5° 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, elles doivent être fixées dans leurs trépieds après avoir été ajustées verticalement. Les ingénieurs doivent se procurer des porte-mires capables et consciencieux.

6° L'instrument à niveler doit toujours être tenu à l'ombre pendant les observations; il est transporté de station en station sans être démonté.

7° 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 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. Ces trois erreurs sont: *a)* la collimation de l'axe optique; *b)* le défaut de parallèlisme; *c*) l'erreur du niveau.

a) La collimation de l'axe optique se détermine en tournant la lunette de 180° autour de son axe et en observant la mire à une distance d'au moins 50^m dans ces deux positions, tout en notant chaque fois l'indication du niveau. On commence par l'observation dans la position normale de la lunette (la tête 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 lecture dans les deux positions de 5^{mm} à une

distance de la mire de 100^{m}), l'ingénieur la corrigera au moyen des vis du réticule ;

b) L'inégalité des tourillons se détermine en retournant la lunette, bout par bout, dans ses coussinets, et en la nivelant dans ces deux positions sans rien toucher 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 exécutant ces trois nivellements de la lunette toujours en retournant chaque fois le niveau sur la lunette, on obtient en même temps trois déterminations de l'erreur du niveau.

Si cette erreur dépasse une division du niveau, l'observateur la réduira dans ces limites au moyen des vis de correction.

Tous les détails de ces déterminations d'erreur doivent être inscrits, comme les observations elles-mêmes, dans le carnet, et être envoyés avec ces dernières au membre de la commission chargé des réductions.

8° Chaque fois qu'on met l'instrument en station on commence par rendre son axe vertical au moyen des vis de callage, de telle sorte qu'on puisse faire faire à la lunette le tour de l'horizon sans que la bulle du niveau sorte des divisions. On finit par rendre la lunette horizontale au moyen de la vis d'élévation. L'inclinaison au moment de la lecture ne doit jamais dépasser trois divisions du niveau (9″).

9° L'observation se fait dans l'ordre suivant:

a) Après avoir rendu la lunette horizontale, le niveau ne bougeant plus, l'observateur, sur l'avis du porte-mire que la mire est verticale, fait la lecture de la mire en notant le centimètre immédiatement au-dessous (dans la lunette au-dessus) du fil fixe, et en évaluant la fraction du centimètre au millimètre, et, le cas échéant, au demi millimètre près;

b) Immédiatement après, il note l'état du niveau en commençant toujours du côté de l'oculaire, et en évaluant les dixièmes de division du niveau.

c) Ensuite l'ingénieur pointe, au moyen du micromètre, sur

les deux traits des centimètres, entre lesquels est compris le fil fixe, ainsi que sur ce dernier; il inscrit pour chacun et à côté du chiffre du trait l'indication du tambour aux dixièmes de ses divisions près.

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

10° 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. Chaque soir l'ingénieur signe les feuilles d'observation, les détache du carnet et les met dans une enveloppe timbrée qu'il met à la poste aussitôt qu'il se trouve à la portée d'un bureau.

11° Les opérations seront continuées pendant la bonne saison, sauf les jours de pluie ou de fort vent. La longueur de la ligne nivelée par jour sera, en moyenne, le long des chemins de fer, de 3 kilomètres au moins (30 à 50 coups de niveau) et sur les routes de la plaine de 2 kilomètres.

12° A chaque kilomètre environ, l'ingénieur aura soin de marquer la position de la mire par un repère fixe et durable, fait à l'huile ordinairement 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 beaucoup de soin, par des repères, la dernière position de la mire lorsqu'il termine une série d'observations, en sorte qu'il puisse la replacer exactement à la même place, en commençant la série suivante. Pour ces positions de la mire qui servent de repère, on n'emploie pas la plaque servant de support.

13° L'ingénieur est obligé de comprendre dans un nivellement les points de repère des nivellements des chemins de fer qui lui seront indiqués, ainsi que les points trigonométriques qui se trouvent dans la proximité de sa ligne de nivellement, et dont il lui sera fourni le registre, enfin les limnimètres de tous nos lacs et fleuves.

14° Enfin, les ingénieurs seront tenus de se conformer aux indications qu'ils recevront de la Commission et de ceux des membres qui seront chargés de la direction du nivellement.

15° Les ingénieurs s'obligent à tenir les appareils en bon

ordre et à les rendre à la Commission en bon état à la fin d'une campagne.

§ 3. — Manière d'utiliser les chemins de fer et leurs nivellements.

Sur la demande de notre Président, le département fédéral de l'Intérieur a adressé aux administrations des chemins de fer suisses une lettre circulaire, dans laquelle il demandait pour nous la faculté d'étudier les nivellements des chemins de fer et d'opérer notre nivellement le long des lignes ferrées. Toutes les administrations ont répondu favorablement, toutes mettent d'abord à la disposition de la commission ou de son délégué les documents de leurs nivellements, à consulter dans les bureaux de leurs ingénieurs en chef. Les compagnies du Jura-Industriel, du Nord-Est ont envoyé en outre les profils en long de leurs lignes. Ce serait un travail assez long que de parcourir toute la Suisse pour étudier dans les bureaux des chemins de fer les dossiers volumineux de leurs nivellements. Il me semble qu'il suffira de demander aux différentes compagnies de nous fournir des tableaux de repères accompagnés de leurs cotes, et de charger nos ingénieurs de s'adresser aux ingénieurs en chef des chemins de fer toutes les fois qu'ils auront besoin de renseignements.

Quant au second point, toutes les administrations se déclarent prêtes à délivrer à nos ingénieurs des permis de circulation pour qu'ils puissent niveler le long de la voie, tout en réservant cependant les exigences du service. Sur la plupart des lignes (à l'exception de celle d'Italie et du tronçon de Bienne-Zollikofen) l'espace entre le bord du talus et les rails ne dépasse pas 4—5', de sorte qu'il serait impossible de laisser l'instrument installé sur la route au moment du passage des trains. Cependant, selon l'avis de presque toutes les administrations, il sera facile, en tenant compte avec soin de l'horaire, d'éviter tout accident. En effet, sur presque toutes les lignes suisses dix trains circulent par jour; en admettant dix minutes de temps pour attendre le passage de chacun de ces trains, nos ingénieurs ne perdent pas même deux heures par

jour. Les autres avantages qu'il y a de niveler le long des chemins de fer sont si évidents qu'il n'y a pas à hésiter, selon moi, à suivre les chemins de fer partout où la chose sera possible. Car d'abord les chemins de fer suivent ordinairement la voie la plus directe; ils ont des rampes bien plus uniformes que les routes, et enfin ils permettent une installation très commode et très sûre pour les mires et l'instrument. En comprenant les repères des chemins de fer dans notre réseau, nos ingénieurs auront en outre un moyen de contrôle, du moins pour les grosses erreurs.

§ 4. — **Plan de campagne pour 1865.**

Comme la saison est déjà assez avancée, et que nous ne sommes en possession jusqu'à présent que d'un seul instrument, le travail de cette année ne saurait être très considérable. Si le second instrument était livré, ce qui est possible, vers la fin de juillet, on pourrait compter sur sept à huit mois de travail; en défalquant un tiers pour des jours de pluie il reste environ 150 jours de travail, qui permettraient de niveler une distance de 300 kilomètres environ.

D'accord avec M. Plantamour je vous propose, Messieurs, d'employer l'instrument que nous avons, en premier lieu, au nivellement du Chasseral et au rattachement de ce dernier au réseau français à Morteau. J'ai fait une reconnaissance du Chasseral, il y a quelques semaines, et je me suis convaincu que les deux seules routes par lesquelles on peut y arriver avec le niveau sont celle de Chaumont et celle du Val-de-Ruz par le Pâquier. Je propose donc de monter de Neuchâtel à Chaumont, d'y déterminer la hauteur de la station météorologique et du signal, de continuer sur la crête de Chaumont par la Combe Ladame vers le sommet du Chasseral, de descendre par Chuffort vers le Pâquier; de là on suivra la route postale de Saint-Imier à la Chaux-de-Fonds, de la Chaux-de-Fonds le long du chemin de fer au Locle, du Locle par les Brenets à Morteau et retour. Enfin, pour contrôle, on ira de Neuchâtel par la route du Val-de-Ruz au Pâquier, et on reviendra du Locle par les Ponts sur Neuchâtel. Cela constitue

un développement d'environ 140 kilomètres, et comme on opérera, en partie, dans des conditions très difficiles, il faut compter au moins 75 jours de travail.

Neuchâtel-Chaumont,	8	kilomètres,	5	jours	de travail.
Chaumont-Chasseral,	20	»	14	»	»
Chasseral-Pâquier,	15	»	10	»	»
Neuchâtel-Pâquier,	15	»	7	»	»
Pâquier-St-Imier,	7	»	3	»	»
St-Imier-Locle,	24	»	12	»	»
2 fois Locle-Morteaux,	25	»	12	»	»
Locle-Ponts-Neuchâtel,	25	»	12	»	»
	139	kilomètres,	75	jours	de travail.

Il convient d'employer à ce travail important et fondamental pour notre entreprise, les mois de juillet, d'août et septembre. La proximité de Neuchâtel permettra à votre rapporteur de suivre de près et de diriger en détail ce nivellement de Chaumont-Chasseral, d'autant plus que M. Plantamour a bien voulu promettre d'y prendre part. Le second instrument livré à la fin de juillet pourra être employé à niveler les tronçons de contrôle de Neuchâtel-Pâquier, Locle-Morteau, et Locle-Neuchâtel. De cette manière, on peut espérer de finir tout ce travail jusqu'au mois de septembre. Les deux mois qui restent encore pourraient être employés à niveler de Genève à Lausanne; l'un des ingénieurs suivrait la route le long du lac et l'autre le chemin de fer entre les deux villes; comme ces deux lignes sont très voisines, il sera utile de relier entre elles les deux lignes de nivellement à plusieurs endroits, comme à Coppet, Nyon, Rolle et Morges. Cela constituerait un travail de 50 kilomètres environ pour chacun des ingénieurs, et peut par conséquent se faire dans les deux mois d'automne.

§ 5. — **Conclusions.**

Je résume mon rapport par les propositions suivantes que j'ai l'honneur de soumettre à la Commission:

1° Il sera commandé sans retard à M. Kern d'Aarau un second instrument de nivellement pareil au premier, sauf les petites modifications indiquées dans ce rapport;

2° La Commission charge deux de ses membres de la direction spéciale des travaux de nivellement et de leur réduction;

3° La Commission nomme sans retard deux ingénieurs chargés de l'exécution des nivellements suivant le règlement contenu dans ce rapport. Ces ingénieurs sont placés sous la direction immédiate de deux membres désignés par la Commission. L'un des ingénieurs devra entrer en fonctions immédiatement, l'autre au commencement d'août;

4° La Commission désigne comme objet de la campagne de cette année le nivellement du Chasseral, d'après le plan indiqué dans le rapport, et, en second lieu, le nivellement de Genève à Lausanne, et, s'il y a lieu, jusqu'à Neuchâtel et Berne;

5° La Commission demandera aux administrations des chemins de fer Jura-Industriel, Franco-Suisse, l'Ouest, et Lausanne-Fribourg le tableau des repères de leurs nivellements, avec indication de leurs cotes; on leur demandera en même temps des cartes de circulation pour nos ingénieurs;

6° La Commission demandera au bureau topographique de la Confédération le tableau de tous les points hypsométriques des cantons de Neuchâtel, Vaud, Genève et Fribourg qui se trouvent à proximité de nos lignes de nivellement;

7° La Commission demandera à la commission hydrographique le tableau des limnimètres et échelles installés, ainsi que des points dont elle désire que l'altitude soit déterminée;

8° La Commission demandera, par l'entremise des autorités fédérales, la permission de placer un de nos repères à Morteau, à côté du repère du nivellement français;

9° La Commission fera placer cette année des repères fondamentaux dans les stations suivantes:

1. Neuchâtel. 2. Chaumont (signal). 3. Chasseral (signal). 4. Pâquier. 5. Saint-Imier. 6. Locle. 7. Morteau. 8. Genève (placé). 9. Coppet. 10. Nyon. 11. Rolle. 12. Morges. 13. Lausanne. 14. Ouchy. 15. Yverdon. 16. Sugy. 17. Morat. 18. Fribourg. 19. Bienne. 20. Berne.

Ces repères consistent en des cylindres en bronze ayant la forme d'une vis de 10 centimètres de long et terminés dans leur partie supérieure par une plaque horizontale de 6 centimètres, qui se trouve à fleur de la pierre dans laquelle ils seront scellés. Cette plaque porte l'inscription N F avec un numéro d'ordre.

Après avoir discuté plusieurs points, la Commission adopte toutes les conclusions du rapport; elle les complète en adoptant les propositions suivantes de M. Wolf:

10° Messieurs Plantamour et Hirsch sont priés de se charger de la direction spéciale des travaux de nivellement et de leur réduction;

11° La Commission nomme comme premier ingénieur, M. *Bentz*, de Schwamendingen. L'autre sera nommé avant le 1er août sur des propositions qu'on prie les différents membres de faire, et par voie de consultation par lettre circulaire;

12° L'ingénieur recevra 15 francs par jour de travail; les porte-mires fr. 4 à 8. Dans le cas où le contrôle fourni par la fermeture d'un polygone ou par la double opération sur une seule ligne mettrait en évidence des erreurs grossières, et dépassant notablement, de plus du double, les limites de celles qui sont prévues dans ce rapport, ce qui entraînerait une nouvelle opération, celui des ingénieurs par lequel l'erreur de la première opération aura été commise ne recevrait dans cette seconde opération qu'une indemnité équivalant à ses frais de route et d'entretien, soit fr. 7 à 10 par jour.

M. *Hirsch* annonce à la Commission qu'il a prié M. William DuBois, du Locle, de venir présenter lui-même à la Commission le chronomètre enregistreur qu'il construit pour elle. M. *DuBois* expose à la Commission la construction de cet instrument qui est presque complètement achevé. Le mouvement principal, qui marche devant les yeux de la Commission, est

déjà réglé, le mouvement auxiliaire est presque fini; M. Du-Bois doit en terminer encore l'organe de dégagement, et M. Hipp la partie électrique. Aussitôt qu'il sera achevé, il sera mis à l'essai à l'observatoire de Neuchâtel.

Enfin M. Hirsch annonce que la Commission permanente internationale se réunit cette année déjà le 4 septembre à Leipzig à cause de l'assemblée des astronomes qui y siége à cette époque. Il désire pouvoir mettre sous ses yeux une partie de notre travail de cette année, et l'on prie M. Denzler de lui transmettre à temps les données qu'il pourra fournir sur ses mesures trigonométriques.

La séance est levée à 6 heures du soir.

Neuchâtel, le 18 juin 1865.

La Commission géodésique Suisse.

Le Président: Prof. R. Wolf,
Le Secrétaire: Dr Ad. Hirsch.