Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande

Band: 27 (1901)

Heft: 15

Artikel: Détermination de l'axe, de la longeur et nivellement du tunnel du Simplon

Autor: Blonay, Pierre de

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-22139

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: 15.07.2025

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

5 Août 1901. — N° 15

Bulletin Technique de la Suisse Romande

Organe en langue française de la Société suisse des Ingénieurs et Architectes. — Paraissant deux fois par mois

Rédacteur en chef et Editeur responsable : E. IMER-SCHNEIDER, Ingénieur-Conseil, GENÈVE, Boulevard James-Fazy, 8

SOMMAIRE : Détermination de l'axe, de la longueur et nivellement du tunnel du Simplon, par M. P. de Blonay. — Le rôle de l'électricité à la Jungfrau, par M. H. Maurer. — L'architecture alpestre, par M. Broillet. — Concours pour la construction d'un Musée Central à Genève. — Société suisse et Section fribourgeoise des Ingénieurs et Architectes ; 39me assemblée générale ; Communications du Comité central et du Comité local.

Détermination de l'axe, de la longueur et nivellement du Tunnel du Simplon (1)

La détermination de l'axe d'un grand tunnel ne peut d'ordinaire pas se faire comme celle d'un petit en jalonnant le tracé directement par-dessus la montagne. Il faut recourir à une triangulation ; on établit un réseau de triangles comprenant entre autres, comme sommets d'angles, les points connus de l'axe du tunnel. Au moyen des angles mesurés aux différents sommets, on calcule ceux que fait avec les côtés des triangles la direction cherchée et celle-ci se trouve ainsi fixée.

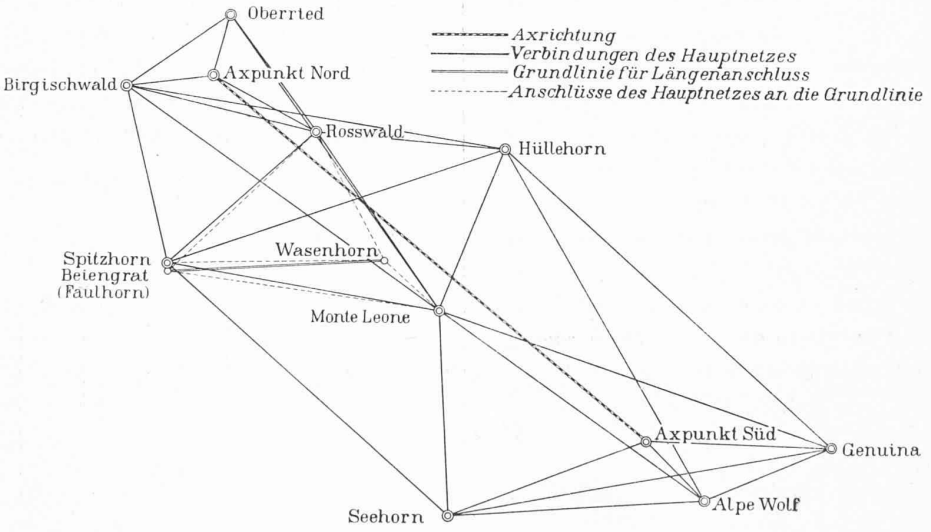

Fig. 1. — **Réseau trigonométrique pour la triangulation du tunnel du Simplon**

(1 : 250,000)

Lorsque, au commencement de l'année 1898, l'entreprise du tunnel du Simplon chargea M. M. Rosenmund, ingénieur au Bureau topographique fédéral de la détermination de l'axe du tunnel, elle espérait pouvoir commencer les travaux dans le courant de l'été suivant, ce qui eut lieu. Le temps manquait (les hauts sommets n'étant guère débarrassés de neige avant les mois d'été) pour terminer à temps une triangulation complète, aussi M. Rosenmund rattacha-t-il provisoirement les deux points qui lui étaient fixés à la triangulation exécutée en 1876, déjà en vue du tunnel du Simplon. Les résultats obtenus suffisaient pour les premiers temps des travaux.

Pour l'exécution du nouveau réseau trigonométrique, les conditions préliminaires suivantes furent établies :

1° Chacun des deux points donnés devait pouvoir être relié, au minimum, à trois autres sommets du réseau.

2° Le passage d'un côté à l'autre de la montagne devait être réalisé au moyen du plus petit nombre possible de points intermédiaires, chaque nouveau point augmentant les chances d'erreurs.

3° Le réseau trigonométrique devait, pour avoir des moyens suffisants de vérification, se composer de deux chaînes parallèles de triangles, qui se contrôleraient réciproquement au moyen d'un grand nombre de diagonales.

4° La distance des deux points donnés, ainsi que la longueur de la galerie de direction et celle du tunnel I, devant se déduire du réseau trigonométrique, il fallait relier ce dernier à la base Wasenhorn-Faulhorn du réseau géodésique suisse qui relie la station astronomique Simplon avec les points de premier ordre de la mesure suisse du degré.

Les points de l'axe fixés d'avance se trouvent, celui du côté nord au bord de la route de la Furka, sur la rive droite du Rhône, celui du côté sud sur la rive droite de la Diveria, en face de l'entrée de la galerie de

(1) *Spezial-Berichte der Jura-Simplon-Bahn an das Schweizerische Eisenbahndepartement über den Bau des Simplontunnels.* 1er Theil. Die Bestimmung der Richtung, der Länge und der Höhenverhältnisse. Bearbeitet von M. Rosenmund, Ingenieur des eidg. top. Bureau.

Se trouve au prix de 7 francs dans les dépôts de carte du Bureau topographique fédéral.

Les illustrations accompagnant cet article sont empruntées à ce rapport, sauf la fig. 1, dont le cliché appartient à la *Schweizerische Bauzeitung*.

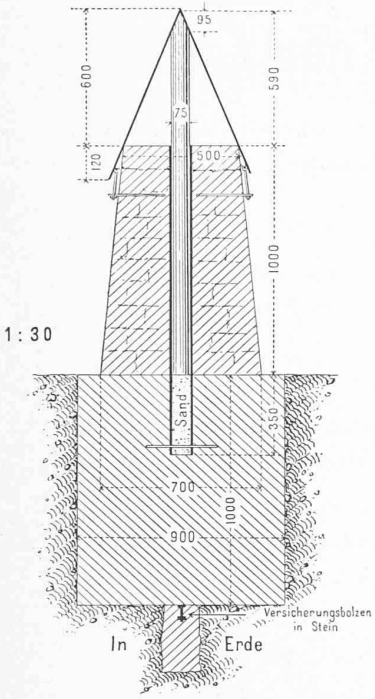

Fig. 2. — **Signal trigonométrique**

direction. Le réseau trigonométrique principal comprend onze sommets (voir fig. 1), y compris les deux points de l'axe. Par contre, les sommets Wasenhorn et Faulhorn n'en font pas partie, ceci pour ne pas introduire les erreurs antérieures qui auraient pu se produire dans le calcul de la longueur de cette base. Un réseau secondaire, comprenant les deux points d'axe, le Wasenhorn, le Faulhorn, le Monte-Leone, le Spitzhorn et le Rosswald, fut établi pour le calcul de la longueur du tunnel.

Les signaux installés aux différents sommets se composent (voir fig. 2) d'un pilier en maçonnerie de ciment dans l'axe duquel est noyé un tuyau en fer, affleurant au sommet du pilier. Dans le tuyau se loge une perche en bois portant un cône en zinc, visible de loin et fixé au moyen de quatre boulons à la maçonnerie. Le sommet du tuyau et celui du cône sont rigoureusement centrés. Pour faire des observations depuis le signal, on enlève le cône et la perche et monte l'appareil sur la plateforme du pilier ; le centrage se fait

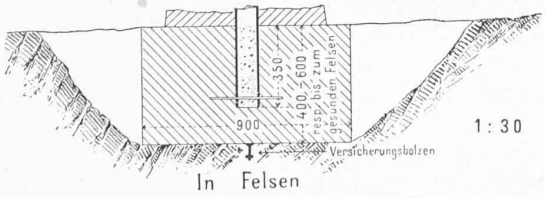

Fig. 3

d'après le tuyau. Chaque signal fut en outre repéré autant que possible au moyen de croix taillées dans les rochers environnants.

La construction des différents signaux dura du 17 juin au 11 juillet ; le mesurage des angles se fit du 14 août au 4 septembre et du 23 septembre au 11 octobre, soit au total 41 jours pour les 13 stations des deux réseaux. Les observations furent faites de telle façon que toutes les combinaisons d'angles entre les différentes directions furent mesurées le même nombre de fois pour la même direction, et assez souvent pour qu'après la compensation des directions, chaque angle ait la même exactitude que s'il avait été mesuré 48 fois. L'instrument employé fut un théodolithe à microscope avec système à répétition et cercle horizontal de 21 cm de diamètre, provenant de la maison Kern et Cie, à Aarau. Par suite d'un accident qui lui survint, on se servit aussi provisoirement d'un théodolithe à vernier et cercle de 24 cm de diamètre. Malgré la diversité des deux instruments, les résultats obtenus concurremment par leur moyen, étaient tels que l'on put les admettre d'égale exactitude.

Les observations terminées, on fit en premier lieu, pour chaque sommet, la somme des angles y aboutissant, en exécutant la correction nécessaire pour amener cette somme à 360°. L'erreur fut de 1" en moyenne. Les angles ainsi obtenus furent réunis en triangles ; le réseau se trouva composé de 27 triangles, non compris le raccordement à la ligne de base. La somme des angles de chaque triangle devait s'élever à 180° plus l'excès sphérique ; ce dernier fut de 0,25" au maximum(1).

Ces calculs donnèrent un premier contrôle au sujet de la valeur de la triangulation : l'erreur moyenne dans la somme des angles d'un triangle fut de 3,1", l'erreur maximum atteignant 8,5". Celle-ci se trouvant trop

(1) Nous n'entrons pas dans le détail des calculs que l'on trouvera au complet dans le rapport de M. Rosenmund.

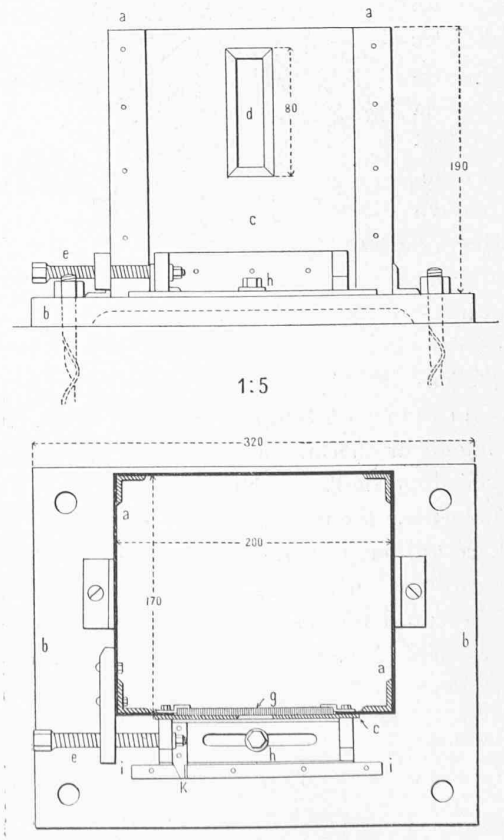

Fig. 4. — **Mire de direction**

considérable, il fut procédé encore, en automne 1898, à un nouveau mesurage des angles des triangles présentant les plus grands écarts, cette fois en tenant compte de l'inclinaison de la lunette, et en réduisant proportionnellement les résultats obtenus. L'amélioration obtenue étant insignifiante, mais les plus grandes erreurs se produisant dans les visées de haut en bas, ou inversément, on en conclut qu'il se produisait des déviations de la verticale. De telles déviations avaient déjà été observées précédemment dans nombre de cas et spécialement étudiés par la commission géodésique suisse qui avait en certains points trouvé des écarts atteignant 20". Dans un cas pareil, un fil à plomb suspendu librement ne se trouve plus perpendiculaire, mais oblique, à la surface théorique de la terre ; de même un niveau à bulle d'air placé sur l'axe de rotation d'un théodolithe ne donne pas la position théoriquement horizontale de cet axe, mais une position d'autant plus inclinée que la déviation de la verticale est plus grande. Les visées plongeantes seront en conséquence les plus fausses. Les erreurs qui résultent de ce que nous venons de dire, furent calculées pour chaque sommet d'après les masses de montagne visibles, en se rapportant à la carte au 1 : 50,000 jusqu'à 8 kilomètres de distance, et au delà à celle au 1 : 500,000. Les corrections s'élevèrent à 5" pour certaines directions.

La compensation du réseau se fit par la méthode des moindres carrés. Tout le réseau fut projeté sur un plan tangent au sphéroïde au sommet du Monte-Leone. Deux des sommets projetés sur ce plan furent admis comme points fixes ; pour les autres points on calcula approximativement les coordonnées par rapport à un système d'axes rectangulaires.

Les corrections de direction dans le réseau furent exprimées en fonction des corrections à faire aux coordonnées approximatives, pour arriver aux coordonnées les plus probables. Au moyen de la méthode des moindres carrés, on calcula les inconnues. Il en résulta 56 équations d'erreur et 18 équations normales à 18 inconnues qui furent résolues.

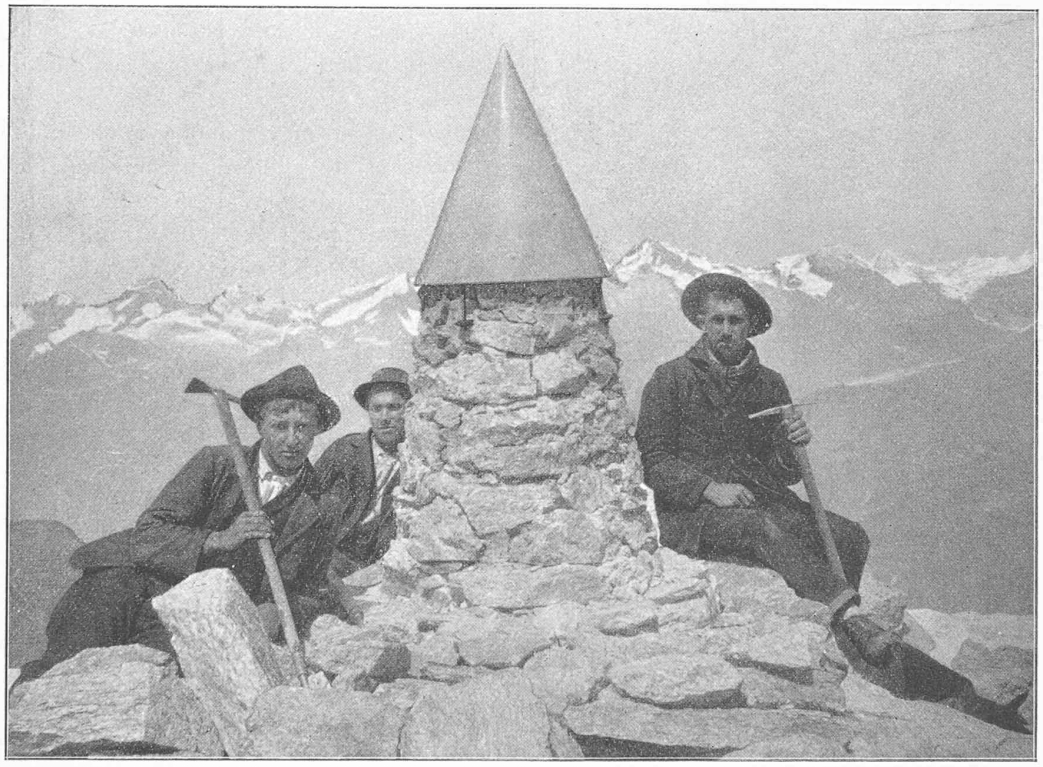

Fig. 5. — **SIGNAL TRIGONOMÉTRIQUE DU MONTE-LEONE**

Les *nivellements* faits en 1870 et 1873 entre Brigue et Iselle ne présentaient pas entre eux une concordance suffisante pour que l'on puisse se baser sur leurs résultats (l'erreur que l'on admet ne doit pas dépasser $3\sqrt{k}$ mm, k étant la distance en kilomètre des points extrêmes). Le Bureau topographique fédéral fit alors exécuter un nouveau nivellement de précision ; cette opération fut faite par deux ingénieurs, indépendamment l'un de l'autre, et donna une différence d'altitude de m 52,439 entre les deux têtes du tunnel.

M. Rosenmund résume comme suit les résultats de sa triangulation ;

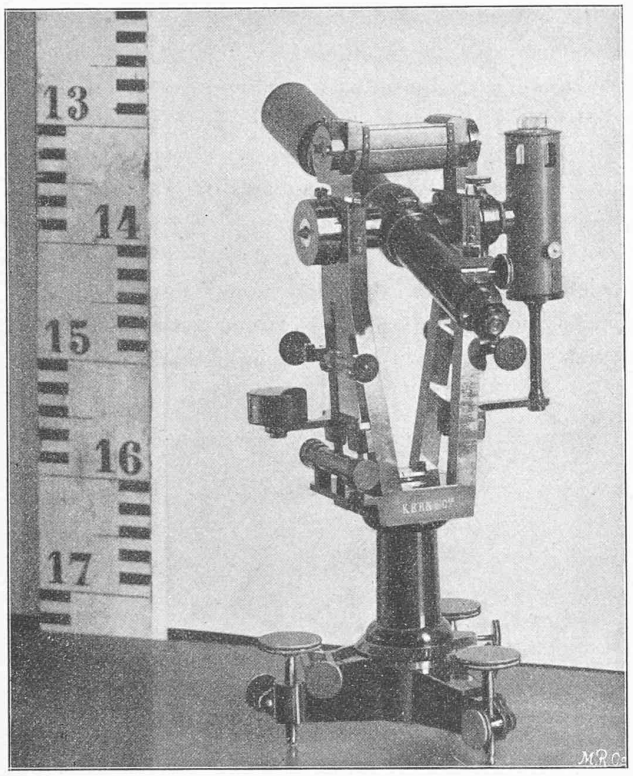

Fig. 6. — **Instrument pour le piquetage dans l'intérieur du tunnel**

1° L'erreur moyenne finale introduite dans les triangles par le mesurage des angles a été de $\pm 3{,}1''$. En tenant compte de la déviation de la verticale, elle se réduisit à $\pm 1{,}7''$. (Dans la triangulation du tunnel du Gothard elle fut de $\pm 2{,}2''$.)

2° En tenant compte de la déviation de la verticale la direction de l'axe du tunnel fait aux deux points fixés d'avance, avec les directions des signaux voisins, les angles suivants :

Côté nord

Visée sur Signal	Oberried	+ 117° 39′ 32″, 46
» » »	Rosswald	+ 13° 13′ 28″, 91
» » »	Birgischwald	— 131° 59′ 4″, 33

Côté sud

Visée sur Signal	Seehorn	+ 64° 20′ 34″, 37
» » »	Genuina	— 140° 36′ 11‴, 75
» » »	Alpe Wolf	— 177° 49′ 45‴, 65

3° En ne tenant pas compte de la déviation ci-dessus, la direction de l'axe aurait, du côté nord, été déviée de 1,55″ à gauche et du côté sud de 3,66‴ à gauche aussi, ce qui aurait donné une différence de m 0,26 au milieu du tunnel.

4° La longueur totale en droite ligne du tunnel I, en comprenant les deux galeries de direction, est de m 19,728,71 (au Gothard m 14,920). La longueur totale du tunnel I, avec les courbes d'entrée est de m 19,769,35 (1). L'influence de la déviation de la verticale n'a fait varier ce résultat que de m 0,03.

5° L'erreur qui se produisit dans la triangulation pour les différentes visées fut en moyenne :

$$\mu = \pm 0{,}91''$$

L'erreur probable s'éleva à

$$\varphi = \pm 0{,}61''$$

6° L'erreur probable dans la détermination de l'axe fut de $\pm 0{,}47'''$, ce qui fait prévoir une erreur de $\pm$ m 0,05, lors de sa rencontre au milieu du tunnel ; cette erreur sera sans doute augmentée par celles qui se sont produites et se produiront encore lors de la fixation des points de repère et lors des visées dans l'intérieur du tunnel.

7° L'erreur moyenne dans le calcul de la longueur du tunnel est de $\pm$ m 0,14. Comme toutefois la longueur admise pour la base Wasenhorn-Faulhorn est déjà sans doute entachée d'erreur, il en résulte qu'on doit s'attendre à une erreur moyenne de $\pm$ m 0,83 et une erreur probable de $\pm$ m 0,56.

8° Des observations astronomiques exécutées aux deux têtes par M. Niethammer, sous la direction de la commission géodésique suisse, ont prouvé que les calculs destinés à corriger la déviation de la verticale, basés sur les masses de montagne visibles étaient exacts.

* * *

La triangulation et les calculs terminés, il s'agit, pendant la durée des travaux, de fixer exactement dans l'intérieur du tunnel la direction de l'axe. Il faut pour cela surmonter beaucoup de difficultés, causées par la température élevée, les chutes d'eau, le manque de place pour installer les instruments, l'obscurité, la fumée, etc.

La direction du tunnel étant donnée aux points primitifs de l'axe par rapport aux sommets voisins du réseau trigonométrique, on commença par établir des points de repère situés dans le plan vertical passant par l'axe du tunnel ; il suffisait dès lors pour chaque visée, de se reporter à ces points. Ils furent placés aussi loin que possible des points fixes, toutefois de façon à être facilement accessibles en toute saison, de nuit comme de jour. A chaque tête il y en a deux ; ils se composent d'une caisse en tôle *a* (voir fig. n° 4) montée sur une plaque de fonte *b* fixée solidement sur le roc ou de la maçonnerie. La paroi antérieure de la caisse peut être déplacée latéralement au moyen de la vis *e* ; elle porte une fente verticale *d* fermée par un verre opaque. De

(1) A page 3 du *Bulletin*, du 5 janvier 1901, nous indiquions m 19,770 ; c'était le chiffre donné par un rapport trimestriel publié avant la fin de la triangulation définitive.

jour cette fente apparaît de loin comme une ligne blanche ; de nuit elle est éclairée par une lampe à pétrole placée à l'intérieur de la caisse. Dans les deux cas elle peut être visée très exactement au moyen d'une lunette. Tout l'appareil est placé dans une niche solidement fixée et fermée en temps ordinaire par une porte en fer. Pour la mise en place de ces points de repère, on fit 472 mesures d'angles du côté nord, et 384 du côté sud ; d'après ces observations, la position définitive de la fente *d* fut déterminée ; l'écrou *h* fut serré à fond puis scellé à fond pour éviter tout déplacement ultérieur.

Les deux stations d'observation furent, à cause des intempéries, placées dans l'intérieur d'un bâtiment circulaire, en maçonnerie, de m 4,5 de diamètre intérieur ; les points de l'axe ayant servi à la triangulation, ne pouvant pour différentes raisons, pas servir de station définitive, celles-ci furent aux deux têtes placées quelques mètres en arrière.

Le piquetage de l'axe se fait en temps ordinaire tous les deux ou trois jours, pendant les travaux ; à cause de cela, on ne peut pas compter sur une grande exactitude. Pour remédier à cet inconvénient, on a, jusqu'ici, fait deux fois par an et aux deux têtes, une vérification exacte pendant laquelle les travaux sont totalement interrompus de 24 à 32 heures environ. Cette opération comprend :

a) Un contrôle des mesurages de longueur ;
b) Un nivellement de précision et
c) La vérification du piquetage de l'axe.

Les points de repère, dans l'intérieur du tunnel, se composent d'une barre horizontale en laiton, placée perpendiculairement à l'axe, sur laquelle un trait indique par où passe ce dernier ; ils sont scellés dans le sol du tunnel I, tous les 200 m en face des galeries parallèles.

On exécute à chaque vérification deux mesurages ; le premier depuis le point où s'est terminée l'opération précédente, jusqu'au point de repère le plus rapproché du front d'attaque ; on utilise pour cela des lattes de 5 m, que l'on aligne sur une lampe, sans tenir compte de leur inclinaison. Le second mesurage se fait, avec plus de précision, sur toute la longueur du tunnel, complètement maçonnée depuis la dernière vérification. Cette opération, impossible à exécuter aussi exactement qu'en plein air, doit cependant être suffisante pour pouvoir, à quelques mètres près, et au moment voulu, faire prévoir l'instant où la rencontre des deux galeries d'avancement se fera. Les lattes utilisées ont une longeur de 5 m et sont très soigneusement travaillées ; elles reposent sur des supports et sont alignées le long d'une ficelle tendue. Ces lattes ne se touchent pas les unes les autres, mais les intervalles sont exactement mesurés au moyen de calibres à vernier. Les résultats obtenus sont réduits proportionnellement à l'inclinaison régulièrement mesurée de la latte. La longueur des lattes est vérifiée à l'extérieur avant et après les mesurages, au moyen d'un comparateur fixé au socle d'un bâtiment.

Le nivellement comprend aussi deux opérations : la première jusqu'à l'avancement, la seconde plus précise pour la partie terminée du tunnel. Les mires sont éclairées au moyen de lampes à acétylène.

Quant à la vérification de l'axe, elle se fait de la façon suivante : on place sur le socle en maçonnerie de l'observatoire un appareil de visée se composant d'une lunette avec réticule, lunette qui se meut autour d'un axe horizontal. On vise en premier lieu les points de repère situés dans le plan vertical de l'axe, puis on l'abaisse dans la direction du tunnel. Dans l'intérieur de celui-ci, une lampe est montée au point où il s'agit de déterminer l'axe. Cette lampe est déplacée transversalement jusqu'à ce que le fil de la lunette partage la flamme en deux parties égales ; l'observateur est relié téléphoniquement au poste de l'intérieur du tunnel. Un premier point obtenu, l'opération est répétée un certain nombre de fois. Si elle a été faite huit fois, on prend la moyenne des quatre premières observations, puis celle des quatre dernières ; si les résultats ne diffèrent pas de plus de 10 mm par kilomètre, on admet définitivement la moyenne des huit visées ; au

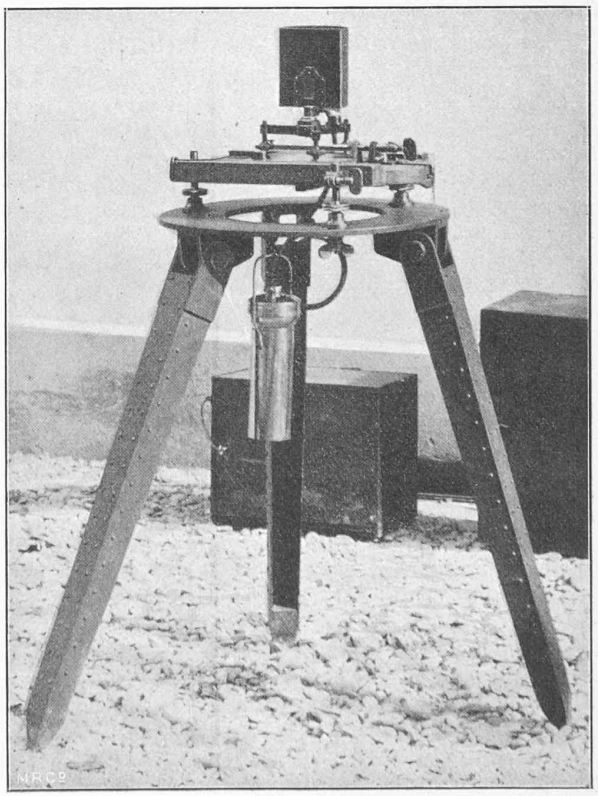

Fig. 7. — **Support pour les lampes avec lampe et générateur d'acétylène**

cas contraire, on procède à un plus grand nombre d'observations.

Les visées ne peuvent pas se faire depuis l'observatoire au delà d'une certaine distance dans l'intérieur du tunnel parce que les courants d'air ont pour effet de faire vaciller les images ; en outre la sphéricité de la terre s'élève à un mètre pour une distance de 4 km et croît avec le carré de la distance. On place alors un instrument (de même construction, mais plus petit que le précédent) sur un des points de l'axe qui ont été déterminés, et on procède comme auparavant, en prenant comme point fixe une lampe placée dans l'observatoire ; pour l'opération suivante, cette lampe sera transportée dans l'intérieur et ainsi de suite. Dans le tunnel on emploie un solide trépied en fer portant un support à coulisse centré sur le point de repère dans le sol et sur lequel se place la lampe ou l'instrument ; au moyen d'une échelle, on lit exactement les déplacements du support perpendiculairement à l'axe.

La lampe à acétylène porte un réflecteur qui fait converger les rayons lumineux en avant sur une fente qui sert de point de mire ; cette fente peut être élargie en cas de besoin ; une ouverture de 5 mm suffit d'ordinaire. Un générateur à acétylène suffisant pour une durée de cinq heures est suspendu au trépied.

P. DE BLONAY, ingénieur.

De Fribourg à la Jungfrau

La Société des Ingénieurs et Architectes du canton de Fribourg organise chaque année une excursion dans un but scientifique.

Celle de l'année 1899 a eu lieu les 2 et 3 juillet. La Société a consacré ces deux jours à la visite de l'Exposition de Thoune et des travaux du chemin de fer de la Jungfrau.

Nous extrayons des « Lettres » écrites par divers de ses membres pour relater les impressions de cette excursion les passages suivants qui intéresseront certainement nos lecteurs.

Lettre de M. H. Maurer, ingénieur

Le rôle de l'électricité à la Jungfrau

Bien que l'électricité soit utilisée aujourd'hui sous toutes sortes de formes dans l'industrie, elle rencontrera rarement un champ de travail aussi multiple qu'elle l'a trouvé dans l'entreprise du chemin de fer de la Jungfrau. En observant les travaux et en suivant les intéressantes explications qui vous sont données par les ingénieurs de l'entreprise, on comprend facilement que, sans cette mystérieuse force électrique, il ne serait pas seulement téméraire, mais impossible d'entreprendre de pareils travaux à une altitude de passé 2000 m. En effet, quand on pense qu'une locomotive à vapeur transportant 40 voyageurs de Lauterbrunnen à la Petite-Scheidegg consomme, pendant le parcours d'une durée de 1 h 1/2, 350 kg de charbon et plus de 2 m³ d'eau, on peut se faire une idée de ce que coûteraient dans les mêmes conditions la construction et l'exploitation du chemin de fer de la Jungfrau. Comme il n'y a point d'eau à la Petite-Scheidegg, l'eau et le charbon devraient être transportés par la Wengernalpbahn jusqu'au point de départ de la Jungfraubahn.

L'électricité, dans ces conditions, rend d'excellents services. Elle n'est pas un corps et n'a, par conséquent, pas de poids, ni de volume, ni d'odeur, ni de fumée, et pourtant, transportée presque sans perte par de simples fils métalliques à de grandes distances, à n'importe quelle hauteur, elle produit, à l'extrémité de ces fils, de la force, de la lumière et de la chaleur.

Dans ces intéressants travaux, ces trois propriétés sont très précieuses. Des moteurs électriques montés sur des chariots appropriés servent de locomotives et transportent les matériaux, le personnel et plus tard les visiteurs de cet incomparable chemin de fer. Ils servent également à actionner les ventilateurs destinés à amener de l'air frais au fond des tunnels en construction.

La force électrique est employée directement pour actionner les perforatrices ; on évite ainsi le coût beaucoup plus élevé des installations de perforation pneumatique. Il va de soi que l'électricité sert également à éclairer les tunnels, les chantiers, ainsi que les bâtiments de l'administration et les diverses dépendances. La chaleur produite par l'électricité est utilisée pour la production d'eau potable ; cette région se trouvant au milieu des glaciers, ne possède naturellement pas d'eau courante et on se trouve dans la nécessité de fondre glace et neige pour en obtenir ; les bâtiments sont également chauffés électriquement et on projette d'y installer des potagers et même des fours de boulangerie électriques.

L'énergie électrique nécessaire à l'entreprise du chemin de fer de la Jungfrau est évaluée à 1500 et 2000 chev. vap. Cette force est produite par la Lütschine blanche, qui traverse le Lauterbrunnenthal avec une pente parfois très raide. Les installations hydrauliques et l'usine électrique destinées à la Jungfraubahn se trouvent près de Lauterbrunnen.

La prise d'eau est située près du passage de la Wengernalpbahn, sur la Lütschine, à quelques cents mètres en amont de la gare de Lauterbrunnen.

Ces installations sont très simples, mais très bien comprises en vue du caractère torrentiel de cette petite rivière. De là, on conduit à l'usine la quantité d'eau nécessaire par une conduite sous pression, construite en tôle d'acier de 1,8 m de diamètre. Elle a une longueur d'environ 800 m.

L'usine électrique, construite en maçonnerie et décorée de travaux en ciment, peut recevoir quatre groupes de machines de 500 HP et tout le matériel électrique nécessaire, comme tableau de distribution, appareils de sûreté, etc. En vue du montage et d'un entretien facile, l'usine est munie d'un treuil roulant d'une force de 10 tonnes. La charpente de la toiture est construite en fer. La pente rapide empêche le stationnement des neiges. La conduite sous pression passe du côté de la montagne, derrière le bâtiment. De là sont dérivées les entrées d'eau aux turbines.

Les constructions hydrauliques ont souvent de la peine à répondre aux exigences des électriciens, vu que les machines électriques normales, d'une puissance relativement faible, demandent une puissance angulaire élevée. La puissance des turbines et la hauteur de la chute étant données, la vitesse de rotation découle de ces dernières. On demande aux turbines une puissance de 500 HP avec une vitesse de 380 tours par minute sous une pression d'eau de 40 m ; le diamètre de la roue mobile devient petit à cause de la vitesse ; mais la puissance de 500 HP demande une grande quantité d'eau ; à la Jungfraubahn, cette quantité est double de ce que permet une construction normale.

Les constructeurs, MM. J. Rieter et Cie, à Winterthour, ont très ingénieusement résolu cette difficulté en plaçant deux turbines sur le même arbre, de façon à ce que deux turbines de 250 HP, marchant parallèlement, transmettent leur force réunie par l'arbre commun à la dynamo. Pour éviter de trop fortes variations, les turbines sont munies de volants et un régulateur à déclic maintient la vitesse de rotation normale.

Les dynamos sont construites par la fabrique de machines d'Oerlikon. Elles produisent un courant électrique triphasé avec 45 périodes complètes par seconde sous une tension de 7000 volts,