Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie = Revue technique suisse des mensurations, du génie rural et de la photogrammétrie

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik = Société suisse de la mensuration et du génie rural

Band: 63 (1965)

Heft: 12

Artikel: Sur la détermination de l'axe de longs tunnels

Autor: Ansermet, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-220022

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: 10.07.2025

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

Verläuft dagegen die geodätische Linie im Punkte P_0 in einer Hauptkrümmungsrichtung (das heißt, ist $\cos A \sin A = 0$), so muß man die Rechnungen fortsetzen, und wieder gewinnt man unter gewissen Voraussetzungen die Relation

$$\lim_{s \to 0} \frac{\nu}{\nu^*} = \frac{1}{5};$$

s. [4], Abschn. 4–6, besonders (6.6).

Literatur

[1] *C. F. Baeschlin:* Lehrbuch der Geodäsie. Zürich 1948.

[2] *C. F. Baeschlin:* Einführung in die Kurven- und Flächentheorie auf vektorieller Grundlage. Zürich 1947.

[3] *F. Hopfner:* Grundlagen der höheren Geodäsie. Wien 1949.

[4] *Z. Nádeník:* O úhlech mezi geodetickou čarou a protějšími normálními řezy. Geod. a kart. sborník *9*, 81–75, Praha 1963 (tschechisch; russische und deutsche Zusammenfassung).

Sur la détermination de l'axe de longs tunnels

par A. Ansermet

Résumé

Divers projets de tunnels sont à l'étude; certains, dits de base, seraient longs. Toutefois la géodésie moderne dispose de moyens nouveaux pour la mensuration de tels ouvrages. L'électrotélémétrie serait appliquée à l'intérieur et à l'extérieur du tunnel; cela complique un peu les calculs, inconvénient mineur. Il ne sera plus nécessaire, comme autrefois, de déterminer les déviations de la verticale en fonction de l'attraction des masses montagneuses visibles. En général tous les calculs et la compensation seront basés sur un système nouveau, régional, de coordonnées dont l'axe neutre pourrait coïncider avec l'axe du tunnel. Quant à l'altimétrie, elle ne doit donner lieu à aucune difficulté spéciale. Les praticiens évitent les visées réciproques et simultanées à cause des frais; dans le cas de longs tunnels cet argument perd de sa valeur.

La question de savoir si la compensation peut être fractionnée et comment ne peut être tranchée qu'en présence d'un cas concret.

Zusammenfassung

Verschiedene Projekte für Tunnels sind im Studium, von denen einige, die sogenannten Basistunnels, besonders lang sein werden. Die moderne Geodäsie verfügt über neue Mittel zur Absteckung derartiger Werke. Die elektronische Distanzmessung wird innerhalb und außerhalb des Tunnels verwendet. Die Berechnungen werden dadurch etwas komplizierter, was kaum einen großen Nachteil bedeutet. Es wird nicht mehr notwendig sein, wie früher die Lotabweichungen auf Grund der sichtbaren Massen

zu bestimmen. Im allgemeinen werden sich alle Berechnungen sowie die Ausgleichung auf ein neues lokales System stützen, wobei die eine Koordinatenaxe mit der Tunnelaxe zusammenfallen kann.

Was die Höhenbestimmung betrifft, so bietet sie keine besonderen Schwierigkeiten. Wenn die Praktiker normalerweise gegenseitige und simultane Visuren wegen der hohen Kosten vermeiden, so hat dieses Argument bei der Absteckung langer Tunnels keine Bedeutung. Die Frage, ob die Ausgleichung aufgeteilt werden könne, muß je nach Fall beantwortet werden.

D'importants projets de tunnels sont à l'étude; certains, dits de base, seraient longs, ce qui posera des problèmes complexes aux géodésiens. Ceux-ci seront cependant mieux armés que par le passé. Pour rendre moins abstrait l'exposé si-après, faisons un rapprochement avec un ouvrage existant, celui du Simplon par exemple, qui, au point de vue géodésique, était une réalisation remarquable à l'époque. Mais, à l'avenir, on aurait un réseau à la fois triangulé et trilatéré. Celui relatif à la trilatération pourrait être spatial. Dans un système (x, y) on peut choisir arbitrairement trois coordonnées et spatialement six; le choix n'est pas toujours facile.

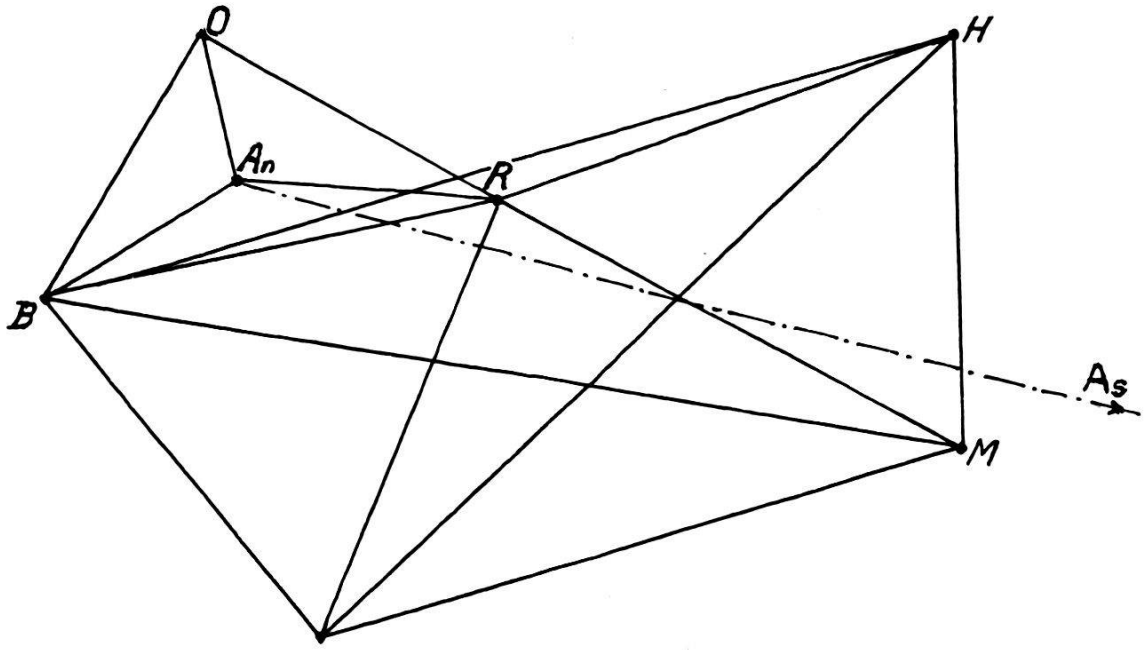

Fig. 1
Fragment réseau du tunnel de Simplon

Considérons (fig. 1) un fragment du réseau du Simplon, l'axe étant A_n–A_s; une solution consisterait à choisir A_n–A_s comme axe neutre d'un système spécial de coordonnées conformes.

Emettons les hypothèses: pour A_n (nord): $x = y = o$; pour A_s: $y = o$, $x = A_n A_s$; on possède une valeur provisoire pour ce x. L'ellipse d'erreur en A_s sera infiniment aplatie. Altimétriquement il y a dans le voisinage de A_n et A_s des repères de nivellement d'altitudes H_n et H_s.

C'est surtout la différence $H_n - H_s$ qui doit être précise. L'élément critique du problème est l'écart transversal à la rencontre des deux galeries.

Enfin on fera en général abstraction de la double courbure du sphéroïde. Sur la figure 2 on voit un arc de géodésique s issu de $(\varphi_0\ \lambda_0)$, normal à la trajectoire T quel que soit l'azimut de s. L'application, l'une sur l'autre, des surfaces à double et simple courbure donne lieu à un écart ou déchirure linéaire Δ: $\Delta = k \cdot s^4$ ([4], p. 257), où le facteur k est fonction de la latitude φ_0 et de l'azimut de s; on a:

$$\Delta \leq 1 \text{ cm} \quad \text{pour } s = 184 \text{ km}$$
$$\Delta \leq 1 \text{ mm} \quad \text{pour } s = 100 \text{ km}$$

Groupons maintenant les divers éléments du problème:

Eléments mesurés: les angles horizontaux (méthode des combinaisons binaires). Angles verticaux: visées simultanées pour les côtés de plus de 5 km. Radio-électrotélémétrie pour les longueurs (ondes lumineuses dans le tunnel). Nivellement de précision dans les galeries.

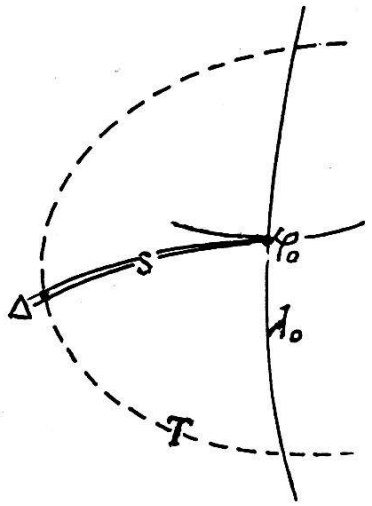

Fig. 2

Inconnues: les variations de coordonnées δx, δy et d'altitudes δH des sommets, les ellipses d'erreur, déviations de la verticale, direction et longueur de l'axe. Sur la figure 1, outre A_n et A_s, on a les sommets M (Monte-Leone, *origine*), O (Oberried), B (Birgischwald), R (Rosswald), H (Hüllehorn). La matrice des coefficients des 18 équations normales avait été formée (voir [3]); le centre de calcul électronique de l'EPUL a bien voulu établir la matrice inverse, donc celle des coefficients de poids des inconnues. Voici quelques résultats:

	Q_{xx}	M_x	Q_{yy}	M_y	Q_{xy}	M_{max}	M_{min}	*Unité: le décimètre*
H	0,118	± 0,31	0,096	± 0,30	− 0,007			$\sqrt{\frac{[pvv]}{38}} = \pm 0'',91$ (sexag.)
O	0,265	± 0,46	0,221	± 0,42	+ 0,068	± 0,50	± 0,37	$(\overline{0,46^2} + \overline{0,42^2} = \overline{0,50^2} + \overline{0,37^2})$
A_n	0,168	± 0,37	0,157	± 0,36	+ 0,013			56 équations aux erreurs
M		0		0				

Déviations de la verticale. Leur inconvénient est d'augmenter assez fortement le nombre des inconnues; il y a deux moyens d'introduire cet élément: par ses composantes ξ, η orientées de façon arbitraire ou par la résultante $\sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ et son azimut. Par exemple si $\xi = 6''$, $\eta = 8''$ la valeur de la résultante est $10''$. Formons une autre paire de composantes ξ', η', la première dans le plan de visée de l'instrument, l'autre, dite transversale, normale au plan de visée; admettons $| \xi' | = | \eta' | = 7'',07$ ([3], p. 23). Planimétriquement il faut encore multiplier η' par la pente de la visée 20%, ce qui donne $1'',414$, correction à apporter à la direction mesurée. Pour le côté Oberried–Birgischwald, la correction est négligeable ou presque (pente 0,47%).

Une solution favorable consiste à réaliser le parallélisme de ξ avec l'axe A_n–A_s. La détermination des ξ, η, grâce à des nivellements géodésiques, entre dans la pratique courante surtout en montagne ([2], [5], p. 240). Mais ici la détermination de ces composantes n'est pas vraiment un but. C'est plutôt implicitement que ces ξ, η ont un rôle à jouer comme on le verra au moment de la compensation.

Liaison directe A_n–A_s. Le cas s'est présenté où une telle liaison était réalisable; les points intermédiaires, en très petit nombre, étaient contenus dans le profil en long de l'ouvrage. Si le tunnel est long, il faut se contenter en général d'un polygone de précision A_n ... A_s. Mais les sommets seront très voisins du profil et les visées devront être réciproques et simultanées. De plus les composantes ξ n'interviendront pas pour le calcul planimétrique, leur influence étant négligeable. Il en sera de même pour les η lors du calcul altimétrique. Les télémètres utilisés seront étalonnés de façon précise. Par hypothèse les ξ, η en A_n et A_s sont déjà connues.

Compensations. Diverses solutions peuvent être envisagées (voir [5]). Considérons le *réseau altimétrique*; pour un côté AB on a deux équations exprimant v_{ab} et v_{ba} en fonction des variations d'altitude δH_a et δH_b relatives aux deux sommets A et B. De plus il y a un binôme de la forme $k_1\xi + k_2\eta$ où $k_1^2 + k_2^2 = 1$. C'est le calcul basé sur des valeurs angulaires; les δH_a, δH_b sont convertis en secondes grâce à des coefficients judicieusement choisis. Certains praticiens préfèrent exprimer les v_{ab} et v_{ba} linéairement; les poids sont aussi à convertir. Enfin d'autres géodésiens forment des binômes $\frac{1}{2}(v_{ab} \mp v_{ba})$, ce qui fournit aussi une paire d'équations pour chaque côté ([5], p. 240). Cette première compensation étant effectuée on possède des valeurs pour les inconnues ξ, η; c'était là surtout le but poursuivi et les côtés télémétrés n'étaient pas soumis à compensation.

Corrections planimétriques. En fonction des ξ, η on peut déterminer la composante transversale ou normale au plan de visée pour chaque côté; on formera ensuite le produit de chacune de ces composantes par la pente de la visée ([3], p. 23), d'où la correction à apporter à la direction mesurée. Au réseau du Simplon la pente était inférieure à 12% en moyenne.

Réseau triangulé et trilatéré. En fonction des altitudes, maintenant connues, on peut réduire les distances obtenues télémétriquement. Tous les éléments nécessaires à une compensation sont à la disposition en vue des calculs par la variation des coordonnées. Les ξ, η n'interviennent pas en trilatération tandis qu'en triangulation c'est différent; au réseau du Simplon la correction atteignait 5″ (sexag.) au maximum, ce qui n'est pas négligeable.

Il y a deux groupes d'équations en v et, si on veut la même dimension partout (linéaire ou angulaire), une conversion s'impose pour un groupe. D'autres solutions peuvent être envisagées pour ce problème; un choix sera fait en présence d'un cas concret déterminé.

Tracé à l'intérieur du tunnel. La plupart des dispositions appliquées au tunnel du Simplon sont encore valables et, en plus, on fera application de la télémétrie à ondes lumineuses. Les déviations de la verticale ont une influence négligeable à cause de la faible déclivité des visées.

Rattachement au réseau primordial. En général il y a des sommets communs entre le réseau d'axe neutre A_n–A_s et celui du territoire; il en résultera un contrôle bienvenu, surtout pour l'échelle. En tenant compte des déformations engendrées par les modes de projection, conformes tous deux, on effectuera une transformation, laquelle peut être fractionnée: la mise en coïncidence des centres de gravité des groupes de points communs sera réalisée, puis, par rotation, on réduira fortement les discordances, étape provisoire. On peut ensuite appliquer la transformation affine dont la forme générale est:

$$\begin{cases} x_i' - x_i = (a_1 x_i + s_3 y_i + s_2 z_i) + (r_2 z_i - r_3 y_i) - v_{xi} & [vv] = \min \\ y_i' - y_i = (s_3 x_i + a_2 y_i + s_1 z_i) + (r_3 x_i - r_1 z_i) - v_{yi} & \text{valeurs arrondies pour } x_i, y_i, z_i \\ z_i' - z_i = \underbrace{(s_2 x_i + s_1 y_i + a_3 z_i)}_{\text{déformation}} + \underbrace{(r_1 y_i - r_2 x_i)}_{\text{rotation}} - v_{zi} & \text{dans les membres de droite} \end{cases}$$

$a_1 = a_2 = a_3$ et $s_1 = s_2 = s_3 = 0$ caractérisent la transformation d'Helmert. Une remarque encore s'impose: les deux systèmes de coordonnées (spécial et primordial) ont des surfaces de référence n'ayant pas la même courbure; pratiquement cela importe peu. C'est pourquoi pour le réseau du Simplon on a appliqué la valeur $\log R^m = 6{,}80474$ ($\log \varrho/2\, R^2 = 1{,}40392 - 10$) au lieu du R pour le Monte-Leone (voir [3]).

Littérature

[1] *W. Fischer:* Bestimmung von Lotabweichungen ... (Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, 1965, Nr. 7).

[2] *F. Kobold* und *N. Wunderlin:* Die Bestimmung von Lotabweichungen ... (Commission géodésique suisse, 1963).

[3] *M. Rosenmund:* Die Bestimmung der Richtung ... des Simplontunnels (Berne 1901).

[4] *H. Roussilhe:* Astronomie appliquée et géodésie (Paris).

[5] *H. Wolf:* Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate (Hamburg).