

Nouvelles méthodes de mesure de distances en géodésie

Autor(en): **Blaser, J.-P.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **57 (1959)**

Heft 10

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-215253>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

La partie administrative sera suivie d'une conférence de Monsieur le Prof. F. Kobold sur:

*« Nouvelles recherches sur les distances zénithales,
les déviations de la verticale et les altitudes dans les Alpes suisses ».*

Les hôtes seront les bienvenus.

Le comité

Nouvelles méthodes de mesure de distances en géodésie

*Le symposium de Washington (mai 1959)
sur « Equipement électronique de mesure de distance »*

par J.-P. Blaser, Neuchâtel

Du 5 au 12 mai s'est tenu à Washington un symposium réunissant tant les géodésiens intéressés aux possibilités offertes par les nouvelles méthodes électroniques de mesure de distance, que les physiciens et ingénieurs ayant développé ces techniques nouvelles. Le but de cette réunion était multiple, et les communications présentées étaient choisies pour bien éclairer le problème de ses différentes faces. Les sujets des contributions peuvent se classer ainsi:

- a) Fondements physiques des nouvelles méthodes;
- b) Réalisation techniques d'appareils actuels et futurs;
- c) Rapports sur des expériences de comparaison entre méthodes classiques et nouvelles;
- d) Rapports sur des travaux réalisés entièrement par les méthodes nouvelles;
- e) Considérations théoriques et nouvelles propositions.

Les textes des communications présentées seront publiés pour fin 1959 sous forme de rapport.

Dans ce qui suit, nous désirons donner un bref aperçu sur le degré de développement atteint par les méthodes électroniques tel qu'il se dégage de résultats communiqués à Washington. De façon générale, on constate que les nouvelles méthodes électroniques ne doivent pas être considérées comme un remplacement des méthodes classiques de la géodésie, mais plutôt comme un complément extrêmement bienvenu. En effet, la mesure directe des distances permet la solution de problèmes inaccessibles jusqu'ici, et surtout, les nouvelles méthodes basées sur l'emploi d'ondes radioélectriques, libèrent le géodésien des conditions météorologiques et permettent, par l'emploi de l'avion, de résoudre efficacement des problèmes précédemment presque insurmontables.

Une description technique détaillée de certains instruments mentionnés ici a été donnée par *H. Matthias*, Revue technique suisse des Men-

surations, Génie rural et de Photogrammétrie, vol. 57, n° 2 et 3 (1959). Nous prions le lecteur de se référer à cet article. Nous ferons souvent usage, dans ce qui suit de désignations telles que telluromètre ou géodimètre, qui sont des marques commerciales, pour désigner la méthode utilisée par ces instruments.

1° Méthode électro-optique (géodimètre)

Cette méthode est en principe une mesure du temps de parcours de la lumière visible sur la distance à mesurer, la vitesse de la lumière étant considérée comme connue. Dans les divers types de «géodimètres» en exploitation depuis quelques années, l'appareil émet un faisceau de lumière dirigée dont l'intensité est modulée par une haute fréquence dérivée d'un cristal de quartz. Le faisceau est réfléchi par des prismes ou des miroirs placés à l'autre extrémité de la ligne à mesurer, et le décalage de la phase de la modulation déterminé au retour. La précision visée étant de l'ordre du centimètre, la mesure du temps doit se faire à mieux que 10^{-10} sec. Il est évident qu'une telle mesure ne peut être que relative, et c'est par la méthode d'étalonnage que se distinguent les divers modèles du géodimètre. Les modèles de haute précision utilisent un parcours étalon optique, les modèles simplifiés une mesure électronique des différences de phase entre la lumière émise et reçue.

Dans une communication de *Bergstrand* (Suède), les caractéristiques principales des géodimètres ont été discutées et des résultats fort intéressants fournis sur des essais en Suède et en Australie. Il ressort de ces expériences, au cours desquelles des bases furent mesurées un très grand nombre de fois et dans des conditions météorologiques très différentes, que la précision intrinsèque du géodimètre modèle 2 est très élevée et que pratiquement la limite est donnée par la connaissance insuffisante des conditions de température et d'humidité de l'air sur le parcours de la lumière. Les erreurs obtenues sur des bases de 5 à 30 km sont environ $\pm 1 \text{ cm} \pm 10^{-6} \times D$.

Deux rapports américains (*Thomas, Carter*) traitaient d'expériences pratiques avec les géodimètres modèles 2 et 3. Le modèle 2 s'est révélé particulièrement utile pour la mesure de bases dans les triangulations de premier ordre, permettant d'introduire des bases plus souvent et dans des terrains où la mesure directe serait impossible, rendant ainsi le réseau triangulé beaucoup plus précis. Un grand nombre de lignes connues par mesure directe a été contrôlé, et des accords entre 10^{-5} et 10^{-6} ont été obtenus. Les erreurs internes des mesures électro-optiques sont de l'ordre de 1 cm.

Le modèle 3 a été utilisé pour des mensurations en relation avec l'établissement d'autoroutes. La précision visée (5 à 10 cm) a été obtenue très facilement. Pour des distances pas trop grandes des mesures radiales faites d'un emplacement fixe avec l'utilisation de réflecteurs en scotch-lite qui ne sont pas récupérés sont particulièrement rapides et économiques.

Le développement futur de la méthode électro-optique offre encore de grandes possibilités: il ressort de la communication de *Karolus* (Allemagne) que des sources de lumière obtenues par bombardement de substances luminescentes par des faisceaux d'électrons permettraient d'augmenter encore la précision. L'emploi de cellules photoélectriques spéciales permettront probablement de réduire encore l'erreur et de rendre l'instrument utilisable à la lumière du jour pour des distances pas trop longues.

Le principal inconvénient de la méthode électro-optique – la nécessité d'avoir une bonne visibilité – n'est pas toujours aussi sérieux qu'il ne pourrait le paraître. En effet, dans des travaux de triangulation il reste nécessaire d'utiliser un théodolite pour la mesure des angles verticaux pour la liaison des hauteurs.

2^o *Mesure optique de bases*

La mesure de bases standard par la méthode de Väisälä a été traitée dans deux communications (*Heiskanen, Honkasalo*, Finlande). Rappelons que cette méthode fait usage des interférences en lumière blanche, et permet de multiplier optiquement un mètre étalon jusqu'à la longueur d'une base standard (jusqu'à 1 km). La précision de 10^{-7} est obtenue avec les précautions nécessaires. Cette méthode semble être la meilleure pour assurer l'identité absolue des bases sur l'ensemble du globe.

3^o *Méthodes radioélectriques pour grandes distances*

Ces différents procédés sont dérivés d'instruments de navigation aérienne ou maritime. Ils ne permettent en général que des précisions absolues de l'ordre de 1 ou 10 mètres, mais grâce à leur grande portée les précisions relatives sont remarquables.

Deux principes sont utilisés: La mesure du temps de propagation d'impulsions émises par la station principale (à bord d'un avion en général) et renvoyées par deux stations réceptrices au sol (par exemple Shoran, Hiran). Les distances ainsi mesurables atteignent 500 km. Une des difficultés principales est la détermination de l'altitude de l'avion et souvent aussi des stations fixes. L'autre type d'appareil (par exemple Decca) mesure la différence de phase entre les ondes continues émises par au moins trois stations fixes. Dans le cas du Loran, les stations fixes émettent des impulsions. Pour les problèmes géodésiques, le système Shoran est le plus utile puisque la station principale est mobile. Dans des régions peu étendues et facilement accessibles, ces méthodes sont peu avantageuses. Nous nous bornerons donc à signaler, parmi les nombreuses communications du symposium, quelques travaux illustrant l'extraordinaire puissance de ces méthodes dans des mensurations pratiquement irréalisables par les méthodes classiques.

Un des exemples les plus frappants est la mensuration canadienne qui a pu être terminée en quelques années malgré les énormes difficultés du terrain (*Ross*). La surface mesurée dépasse, en effet, 5 millions de km²

et s'étend jusqu'aux îles dans la mer Polaire à 1000 km du pôle. Il s'agit d'une trilatération avec le système Hiran basée sur 140 stations. Les 500 lignes mesurées ont des longueurs moyennes de près de 400 km (max. 600 km). L'accord interne du réseau de trilatération atteint presque 10^{-5} , tandis que dans les régions où il existait déjà un réseau de triangulation, l'accord est un peu moins bon, vraisemblablement à cause de l'inexactitude de ce dernier.

Une des applications principales des méthodes Shoran est la préparation de cartes photographiques sans points fixes au sol déterminés préalablement, en utilisant la position de l'avion donnée par le Shoran au moment de la prise de vue. Des points secondaires peuvent être fixés avec une précision de l'ordre de 10 m lorsqu'on prend soin d'effectuer un certain nombre de passages sur le point. Cette méthode a été appliquée par *Aslakson* (U. S. A.) dans des territoires d'Amérique centrale couverts de jungle.

4° Méthodes radioélectriques pour courtes distances

Tandis que les problèmes résolus avec des méthodes telles que le Shoran ne sont pas directement accessibles à la triangulation classique, les instruments électroniques pour distances jusqu'à 50 km permettent une comparaison directe des anciens et nouveaux procédés. Les résultats communiqués au symposium concernent avant tout le telluromètre. Cet instrument utilise un faisceau d'ondes décimétriques qui est envoyé de la station principale en direction de la station secondaire qui le renvoie à une fréquence légèrement différente. Le faisceau est marqué par une modulation choisie de façon très ingénieuse, ce qui permet de mesurer le temps de parcours de l'onde. L'emploi d'ondes porteuses décimétriques (3000 MHz) permet d'obtenir des faisceaux bien dirigés (10 à 20 degrés d'ouverture) malgré la faible dimension de l'antenne et la puissance réduite de l'émission. Le telluromètre est donc presque aussi facile à déplacer qu'un théodolite.

Malgré le caractère dirigé des faisceaux, ceux-ci sont suffisamment larges pour produire des ondes réfléchies sur le terrain. Le récepteur recevra donc en général une onde directe plus une ou plusieurs ondes réfléchies. Celles-ci auront un parcours plus long, et leur intensité dépendra fortement de la nature du terrain. L'instrument fournira, pour une mesure effectuée sur une seule fréquence, un résultat qui pourra être très fortement faussé. Ce fait n'a pas manqué de susciter une grande méfiance parmi les usagers habitués aux méthodes optiques. Toutefois, lorsqu'on a soin de varier la fréquence d'émission par pas, on peut montrer que les effets dus aux ondes réfléchies se résument à une oscillation périodique de la valeur mesurée autour de la valeur correcte. L'opérateur apprend d'ailleurs rapidement à éviter des emplacements défavorables au point de vue des réflexions. Seuls certains cas spéciaux où la surface du sol est mouvante (champ de blé agité par le vent ou vagues sur l'eau) semblent rendre les mesures difficiles ou même impossibles.

Plusieurs travaux fort intéressants exécutés avec le telluromètre ont été discutés au symposium. *Kneissl* et *Sigl* (Allemagne) ont donné les résultats de trilatérations au telluromètre exécutées dans un réseau déjà bien déterminé par triangulation, ainsi que des mesures répétées de la base de Munich. Les distances mesurées allant de 8 à 50 km la précision obtenue est de quelques centimètres. Certains désaccords entre deux instrument persistent toutefois et peuvent atteindre 10 ou 20 cm. L'influence du terrain n'a pas été fortement ressentie. Au point de vue météorologique, le brouillard et le temps couvert ou pluvieux sont reconnus favorables, tandis que par forte insolation les mesures sont inexactes.

Les problèmes posés par la compensation de réseaux mixtes de triangulation et trilatération ont été évoqués par *Gale* (Canada). Des observations d'un arc de triangulation de premier ordre à l'aide d'un telluromètre ont été combinées avec les mesures d'angles de façon variée, deux longueurs aux extrémités de l'arc étant maintenues fixes (mesurées au géodimètre). L'influence des poids relatifs adjugés aux mesures d'angle ou de côtés est étudiée. Les corrections à apporter aux mesures de distance sont en moyenne (pour des lignes d'environ 20 km) 3×10^{-6} . Le meilleur accord est obtenu en admettant que toutes les longueurs données par le telluromètre sont trop grandes d'environ 7 cm, la cause pouvant être instrumentale, météorologique ou due au terrain.

Malgré certains points encore inexplicables lorsqu'on pousse la précision à l'extrême, le telluromètre a déjà entièrement prouvé son utilité dans la pratique. Une communication de *Meier* (U. S. A.) décrit l'emploi de cet instrument pour une trilatération en Arabie. Soixante distances entre 3 et 60 km furent mesurées. Les erreurs trouvées pour une mesure sont en moyenne ± 20 cm. Plusieurs lignes traversant la mer ont pu être mesurées sans difficultés, même sans vue directe. Les travaux ont pu s'effectuer beaucoup plus rapidement qu'avec les méthodes classiques.

Speer (U. S. A.) décrit l'emploi du telluromètre pour l'établissement de cartes topographiques en se basant sur le réseau géodésique existant. On a utilisé principalement des traversées ou de nombreuses mesures radiales depuis des points à vue étendue. Tout en gagnant du temps, cette méthode a donné une précision de second ordre au lieu du troisième ordre habituel. Les mesures de distance étaient accompagnées de pointés au théodolite pour obtenir les angles horizontaux et verticaux.

Smith (Union sud-africaine) discute les développements futurs de la méthode du telluromètre. Il s'agit principalement de son application mobile permettant des mesures quasi instantanées depuis des bateaux et des avions. L'emploi de trois stations permet de fixer la position exacte de l'avion dans l'espace pour l'établissement de cartes aériennes. La distance utile ne pouvant plus être beaucoup augmentée à cause de l'absorption des ondes décimétriques dans l'atmosphère, on s'efforce à rendre les instruments plus portatifs et la mesure plus rapide.

Il est nécessaire, avant de choisir pour un problème donné les méthodes électro-optiques ou radioélectriques, de se rendre compte des avantages et limitations respectifs. Pour la rapidité du travail, les mé-

thodes radioélectriques sont nettement plus avantageuses. Les appareils sont facilement portatifs (telluromètre) ou aéroportés (Shoran). La mesure est possible en principe par n'importe quel temps et sans visibilité. Les appareils électro-optiques requièrent un emplacement de haute stabilité et ne permettent de travailler que la nuit par bonne visibilité. Contrairement au telluromètre, la mesure au géodimètre est indépendante de la nature du terrain (réflexions). Lorsqu'on vise des précisions très hautes, les méthodes radioélectriques sont désavantagées par la forte influence de l'humidité de l'air sur la vitesse de propagation des ondes. Cette dépendance est en effet environ cent fois plus forte pour les ondes radioélectriques que pour la lumière visible. Il se dégage des discussions présentées au symposium que le principal obstacle à l'augmentation de la précision est l'ignorance inévitable des conditions exactes de la température et de l'humidité sur le parcours suivi par le rayonnement. Habituellement on se contente de mesurer les facteurs météorologiques aux deux extrémités de la ligne, mais les résultats présentés par *Moody et al.* (U. S. A.) montrent qu'il serait nécessaire d'obtenir ces facteurs en plusieurs points intermédiaires. Même en introduisant de telles valeurs, l'influence météorologique semble limiter la précision à quelques unités 10^{-6} .

5° Divers

L'utilisation future de satellites artificiels à des fins géodésiques a été évoquée par *Veis* (U. S. A.). Les renseignements déjà obtenus sur la possibilité de calcul d'orbites précises pour des satellites permettent d'entrevoir leur application à la mesure de distances intercontinentales. Ceci peut se faire en visant au même moment depuis plusieurs points un satellite assez élevé (le satellite pourrait, par exemple, émettre des éclairs périodiques). Si l'orbite est connue avec suffisamment de précision, les visées peuvent aussi être faites successivement au passage du satellite sur les lieux considérés. Les mesures d'angles sont toutefois délicates sur un objet à déplacement aussi rapide. C'est pourquoi la solution idéale serait la mesure directe de la distance du satellite par des méthodes radioélectriques. Il est à prévoir que ce sera cette méthode qui permettra d'obtenir la mensuration la plus précise du globe dans son ensemble.

Citons encore une application très importante des satellites. L'analyse, à partir des perturbations des orbites du champ gravitationnel extérieur de la terre (communications de *Kaula* et *O'Keefe et al.*), a donné des résultats préliminaires reposant la question de savoir si l'isostasie est véritablement établie en grand.

Le problème de la mesure des distances intercontinentales pourra également être attaqué par une nouvelle méthode proposée par *Ewing et al.* (U. S. A.). Il serait possible, selon ces auteurs, de submerger dans l'océan des réflecteurs triédriques permettant, par l'emploi du Sonar (radar acoustique) de fixer la position de stations flottantes qui seraient reliables entre elles par trilatération à l'aide de méthodes radioélectriques.