

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 84 (1958)  
**Heft:** 19: Comptoir Suisse, Lausanne, 13-28 septembre 1958  
  
**Artikel:** L'application de méthodes électriques en aéromensuration  
**Autor:** Ansermet, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-63505>

### **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:** 26.01.2026

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

Enfin, il est indispensable que le projeteur soit familiarisé avec les caractéristiques du matériel proposé par les fournisseurs et qu'il en suive attentivement l'évolution.

### Conclusion

L'Administration du génie rural du département des Bouches-du-Rhône vient d'inaugurer, à Gardanne, un réseau d'irrigation par aspersion entièrement « à la demande ». Ce réseau, constitué de conduites en charge et de prises d'eau par compteur pour chaque exploitation, est, à notre connaissance, le premier de ce genre actuellement en service dans le monde. Un réseau d'une conception aussi moderne devait s'inscrire dans un ensemble traité avec les mêmes soucis techniques.

C'est ainsi que les branches d'extension du canal du Verdon, dans lesquelles le réseau de Gardanne puise son eau, devaient être transformées de manière à transmettre, jusqu'à la réserve nourricière, les appels de débit des irrigants.

Une telle transformation était rendue possible par l'emploi d'un matériel de mise au point relativement récente. Toutefois, un certain nombre de difficultés surgirent dans l'adaptation du principe de régulation choisi aux caractéristiques de l'installation déjà en place.

Il est bien évident que, si rien n'existe encore, l'ingénieur pourra définir librement tous les paramètres ; il pourra, entre autres, choisir le tracé et les caractéristiques hydrauliques de ses canaux en fonction du but à atteindre ; il dimensionnera les ouvrages de manière à obtenir directement une sécurité satisfaisante dans tous les stades de la réalisation.

Une telle manière de procéder n'était pas applicable dans le cas qui nous intéresse et il n'était pas question de changer quoi que ce soit au tracé et aux caractéristiques générales des branches.

L'organisme chargé des études devait donc respecter dans l'établissement du projet les impératifs suivants :

- Sécurité du fonctionnement.
- Economie du projet.
- Transformations très limitées.
- Réalisation par étapes avec interruptions de l'écoulement limitées à quelques jours ou fractions de jours suivant les cas.

Nous pensons avoir montré comment ces diverses clauses ont pu être respectées.

La mise en service qui doit survenir au cours des prochains mois fournira, nous l'espérons, un argument de choix aux partisans d'une application des techniques les plus modernes à un domaine aussi vieux que celui de la distribution aux cultures des eaux d'irrigation.

## L'APPLICATION DE MÉTHODES ÉLECTRONIQUES EN AÉROMENSURATION

par A. ANSERMET, ing.-prof.

Dans le *Bulletin technique* du 16 février 1957, page 50, il a été fait allusion aux méthodes modernes de mesures linéaires ; le développement incessant de procédés nouveaux constitue une nette évolution dans les domaines de la topographie et de la géodésie. Les résultats obtenus sont réjouissants et il est opportun de consacrer quelques lignes à ces moyens de mensuration. Il convient ici de distinguer :

- 1° La méthode électro-optique, comportant la modulation d'ondes lumineuses à haute fréquence.
- 2° La mesure électronique de grandes distances (réseau trilatéré Hiran), qui est en faveur dans certains pays.

Pour le physicien, ces procédés sont bien connus mais leur application a donné lieu jusqu'ici à une documentation assez fragmentaire, surtout en ce qui concerne la seconde de ces méthodes. Des problèmes complexes sont à résoudre, notamment si la précision doit être poussée au-delà d'une certaine limite.

Les mesures brutes, effectuées à bord d'avions, doivent être corrigées ensuite de leur projection sur le sphéroïde terrestre. Dans la pratique courante, la vitesse de propagation de la lumière et des ondes magnétiques est en général considérée comme constante, mais ce n'est pas rigoureusement le cas ; la trajectoire des ondes électromagnétiques a une certaine courbure, qui varie et dont il faut tenir compte. Enfin on effectue toujours des mesures en nombre surabondant, ce qui implique une compensation. Rappelons tout d'abord succinctement en quoi consiste la méthode

électro-optique. Elle est basée sur la détermination de la durée du trajet de la lumière pour aller d'un point  $B$  à un point  $B'$  (fig. 1) ; ce principe n'est pas nouveau, mais la réalisation pratique doit être attribuée avant tout aux Suédois. C'est à Stockholm que E. Bergstrand créa le géodimètre, qui travaille sur une longueur d'onde de 30 m (fréquence 10 MHz). L'intention première de Bergstrand était d'employer le géodimètre pour mesurer la vitesse de la lumière ; l'instrument fut ensuite utilisé pour résoudre le problème inverse. La station principale est en  $B$ , d'où est émis le faisceau lumineux, tandis qu'en  $B'$  se trouve un miroir triple réfléchissant le faisceau. L'équipement comprend une source lumineuse, un modulateur des ondes lumineuses, des compteurs de phases et de fréquences. Le modulateur est constitué par une cellule de Kerr ;

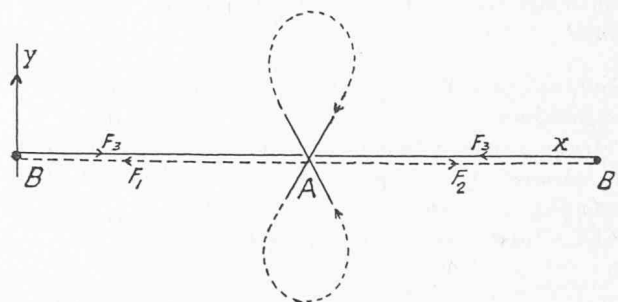


Fig. — Mesure de la longueur  $BB'$  (proj. horizontale).

cette solution n'était pas nouvelle ayant déjà été préconisée par Hüttel et Mittelstädt à Leipzig, ainsi que par Karolus à Freiberg.

Un désavantage de cette cellule est de nécessiter des tensions élevées. L'équipement lui-même est assez encombrant et pèse 200 kg environ. Des études sont en cours tendant à remédier à ces inconvénients.

A ce jour, l'ordre de grandeur de la précision réalisée par ce moyen est controversé. L'élément plus ou moins incertain est la vitesse de la lumière, qui dépend des conditions aérologiques. Pour réaliser un contrôle efficace, on mesurera la même base au moyen du géodimètre et par les méthodes classiques (fils ou rubans d'invar, etc.). En confrontant divers résultats, y compris ceux obtenus par la mesure électromagnétique, Bergstrand trouva

$$299792,9 \pm 0,2 \text{ km/sec}$$

tandis que, dans l'état actuel de la technique instrumentale, Karolus estime que la vitesse peut être déterminée à 1 : 100 000 près. Il y a là une divergence assez sérieuse.

#### Réseaux triangulés et trilatérés

Avant de passer à l'étude de la méthode Hiran, qui nous intéresse surtout, il convient de faire la discrimination entre ces deux genres de réseaux quant à leurs avantages respectifs.

Dans un système trilatéré, les longs côtés seront en principe déterminés par la méthode Hiran, puis on complète le réseau par d'autres moyens. Un élément important est constitué par les poids respectifs des diverses mesures. Or il est certain que les poids de mesures angulaires sont plus faciles à apprécier ; le problème relatif aux poids des mesures linéaires est posé, mais bien des questions restent à élucider ([1] p. 22).

A d'autres égards, le réseau triangulé présente certains avantages quant au degré de surdétermination. C'est ainsi que dans un quadrilatère complet on peut mesurer six longueurs, dont les six poids primitifs sont en moyenne amplifiés 1,2 fois par l'application du principe des moindres carrés, tandis qu'en mesurant huit angles, les huit poids primitifs sont en moyenne doublés. Il y a là un gain en faveur de la triangulation et il est opportun de le signaler.

En revanche, avec la méthode Hiran, il n'est pas nécessaire, depuis l'extrémité  $B$ , de voir l'autre extrémité  $B'$ , ce qu'il convient d'apprécier. La trilatération présente encore d'autres avantages, dont il sera question plus loin.

Le problème est plus complexe lorsque le réseau, au lieu d'être libre, est rattaché à des points déjà déterminés.

#### Courbure de la trajectoire et vitesse des ondes électromagnétiques

Ici on s'engage dans un domaine où l'empirisme joue un certain rôle, ce que l'on pouvait présumer étant donné le caractère du problème posé.

La vitesse  $v$  des ondes est exprimée par :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{c}{n} = c \cdot f(T, e, p)$$

où  $\mu$  est la perméabilité et  $\epsilon$  la constante diélectrique. L'élément variable est donc  $n$ , assimilable à un indice de réfraction.

$$(n - 1) 10^6 = a \frac{p}{T} - b \frac{e}{T} + c \frac{e}{T^2} \quad ([4] \text{ p. 49})$$

où  $T$  est la température absolue,  $p$  la pression de l'air en mb et  $e$  la tension de la vapeur d'eau en mb. Il y a donc trois paramètres à déterminer ; lorsque l'avion est en  $A$  (fig. 1), pour la mesure des distances  $AB$  et  $AB'$  on a recours à un avion spécial qui enregistre les valeurs  $T, p, e$  en certains points ou dans le voisinage immédiat des trajectoires. Divers services géodésiques ont déterminé les trois paramètres, mais la concordance parfaite des résultats n'est pas réalisée. Pour la courbure, on a :

$$1:r \cong (dn : dh) \quad (h = \text{altitude ; } r = \text{rayon trajectoire})$$

$$n \cong a_1 + a_2 h + a_3 h^2$$

ce qui revient à assimiler approximativement la trajectoire à une courbe de 3<sup>e</sup> ordre. On fera coïncider à cet effet un des axes de coordonnées avec la corde de l'arc. Les valeurs empiriques ont fait l'objet, pour leur détermination, d'une compensation par la méthode des moindres carrés.

#### Méthode Hiran

La distance  $BB'$  est fractionnée en vue de sa détermination. A partir de l'avion  $A$ , on effectue une série de mesures portant sur les longueurs  $AB$  et  $AB'$ . En réalité, on enregistre des laps de temps. L'avion évolue dans le voisinage immédiat du milieu de  $BB'$  en projection horizontale, l'altitude devant permettre de voir  $B$  et  $B'$ . La trajectoire parcourue par l'avion rappelle, comme allure, la lemniscate. La cadence des mesures, est uniforme et on opère dans les portions rectilignes de la trajectoire (fig. 1). En plus des erreurs inhérentes au mode de détermination, il faut corriger les résultats pour tenir compte de l'ordonnée  $y$  de la station par rapport au plan vertical passant par  $BB'$ . La correction pour  $AB$  et  $AB'$  est fonction de cosinus de petits angles ; on développe en séries, en s'arrêtant aux termes en  $y^2$ . Graphiquement, et en appliquant le principe des moindres carrés, on obtient une parabole compensatrice ; de plus, il y a toujours surdétermination (voir [2], [3]). Pour chaque position de l'avion, lors de mesures, on forme la somme  $AB + AB'$ . C'est le sommet de la parabole qui correspond à une valeur extrême. Les résultats seront encore corrigés pour tenir compte des altitudes respectives de  $A, B$  et  $B'$ . Un altimètre fournit l'altitude de l'avion  $A$  en pieds.

Sur l'avion est monté l'appareil mesureur, à la fois émetteur et récepteur, dont l'âme est un tube de Braun.

A partir de l'avion  $A$  sont émises des séries d'impulsions récurrentes d'oscillations hertziennes. La longueur d'onde  $L_1$  ( $F_1 \cong 220$  MHz) fait fonctionner le récepteur de  $B$  ; la longueur d'onde  $L_2$  ( $F_2 \cong 255$  MHz) fait fonctionner le récepteur de  $B'$ . Les impulsions réémises par  $B$  et  $B'$  sont sur la même longueur d'ondes  $L_3$  ( $F_3 \cong 310$  MHz) sur laquelle est accordée le récepteur de  $A$ . L'observateur à bord de l'avion voit sur l'écran de l'oscilloscope l'impulsion initiale  $A$  et

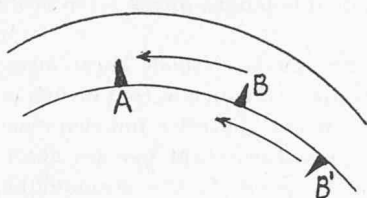


Fig. 2.  
Ecran du tube  
de Braun (partiel)

les impulsions de retour  $B$  et  $B'$  qui sont répétées à la même fréquence égale à celle du balayage circulaire de l'oscilloscope. Les flèches (fig. 2) indiquent le sens dans lequel on déplace  $B$  et  $B'$  pour mesurer les distances  $AB$  et  $AB'$ .

L'ordre de grandeur de la précision réalisée est évalué à  $\pm 1 : 100\,000$ , mais des résultats plus précis sont escomptés. Les lectures sont effectuées en milles sur les compteurs. Il est nécessaire de procéder à un étalonnage de l'équipement, en utilisant une base dont la longueur est connue avec précision. Il faut compter en effet avec des retards très faibles, mais non négligeables à l'émission et à la réception, d'où des corrections.

#### Réduction sur le sphéroïde

Considérons (fig. 3) un arc  $AB$  de trajectoire dont la longueur  $S$  a été déterminée en tenant compte aussi des éléments enregistrés ( $T, e, p$ ). La différence entre l'arc et la corde est  $S^3 : 24 r_m^2$ , où  $r_m$  est le rayon de courbure au milieu de l'arc.

Le problème à résoudre est le suivant : calculer la longueur  $S_0$ , c'est-à-dire l'arc d'ellipse  $A_0B_0$ , résultant de la projection de  $AB$  sur la surface terrestre. Certains praticiens assimilent cette surface à une sphère, négligeant la double courbure, ce qui souvent suffit. D'autres solutions furent préconisées ; l'une d'elles consiste à traiter le problème inverse. Ce que l'on veut, ce n'est pas tant la position précise de  $A_0$  et  $B_0$  pris individuellement ; ce qui importe, c'est la distance entre les points. Le calcul est effectué dans le plan  $xz$ , bien que le quadrilatère  $BB_0A_0A$  ne soit pas rigoureusement plan. On considère une solution provisoire, approchée,  $A_0'A'$ , telle que l'arc  $A_0'B_0 = S_0'$ . Des séries ordonnées suivant les puissances de  $S_0'$  donnent les coordonnées du point  $A_0'$  et la direction de la normale  $A_0'A'$ . Soit  $S'$  la longueur de l'arc  $BA'$ . La différence  $(S - S')$  est telle que  $AA' \cong A_0A_0'$ . Si c'est nécessaire, on répète le calcul en deuxième approximation. On obtient alors  $S_0$ .

#### Mesures électroniques au sol.

Les réseaux trilatérés Hiran, obtenus par aéromensuration, comportent de longs côtés, de quelques centaines de kilomètres. Pour de courts côtés  $BB'$ , on opère à partir d'un avion  $A$  se trouvant dans le voisinage de la base  $BB'$  prolongée et l'on forme la différence  $AB' - AB$  ou  $AB - AB'$ , selon les cas. Il y a encore une parabole compensatrice, comme précédemment. Au premier abord, cette solution a quelque chose de choquant, mais la principale composante de l'erreur est indépendante de la longueur mesurée, d'où le procédé.

Pour des côtés jusqu'à 30-40 km, on fait aussi des mesures au sol. C'est ainsi que, récemment, fut créé le Telluromètre, comprenant un appareil mesureur mis en station à une des extrémités  $B$  de la base  $BB'$ . Cet appareil joue le même rôle que l'équipement Hiran

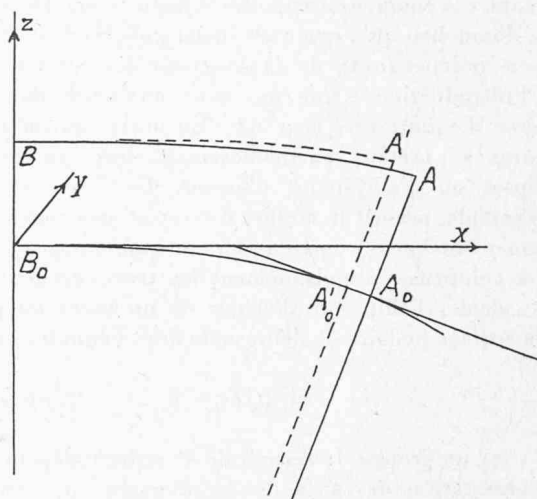


Fig. 3. — Réduction de la trajectoire  $AB$  sur le sphéroïde.

monté sur l'avion. Ici encore, on a recours à un tube de Braun portant une division circulaire, laquelle permet une évaluation très précise des laps de temps (voir [5]). Des contrôles effectués au moyen de bases mesurées par les méthodes classiques donnèrent lieu à de très bons résultats. L'ordre de grandeur de la précision serait  $\pm 1 : 1\,000\,000$ . Un tel résultat est de nature à faire sensation s'il était confirmé dans la pratique courante.

#### Calcul des réseaux trilatérés Hiran

Pour terminer, émettons quelques considérations générales au sujet de ces calculs, en admettant les deux cas : réseaux libres mais surdéterminés et réseaux rattachés à des points connus. En principe, le rattachement est préférable, plus sûr.

En général, le calcul n'a pas lieu sur le sphéroïde mais sur une sphère auxiliaire, en coordonnées conformes dans les deux cas. Si le territoire trilatéré est étendu, on n'a pas le choix, une représentation plane n'est pas indiquée (voir [1]).

Toutefois les coordonnées planes présentent des avantages pour la compensation, le calcul des ellipses d'erreur, etc. Si le territoire couvert par le réseau a une superficie inférieure à 600 000 — 800 000 km<sup>2</sup>, on peut envisager le calcul dans le plan. Les transformées planes sont incurvées et leur tracé est donné par la courbure, dont la formule est, dans un système conforme :

$$\frac{1}{m} \left( \frac{\partial m}{\partial x} \frac{dy}{ds} - \frac{\partial m}{\partial y} \frac{dx}{ds} \right)$$

$m$  étant le rapport de similitude plan/surface ([6] p. 108)

$$m - 1 = \frac{x^2 + y^2}{4R^2} + A(x^2 - y^2) + 2B_1xy + \dots$$

Le calcul est simple en appliquant cette série. Cette formule pour la courbure, dite parfois de Schols-Laborde, ne sert pas à établir l'équation de la transformée plane d'un côté tel que  $BB'$ , mais seulement à réduire à la corde cette courbe en intégrant l'angle de contingence

$$\int_B^{B'} \frac{1}{m} \left( \frac{\partial m}{\partial x} dy - \frac{\partial m}{\partial y} dx \right).$$



Quant à la compensation, elle s'effectue alors aisément et ne donne lieu qu'à quelques remarques. Tout d'abord l'erreur indépendante de la longueur des côtés nécessite l'introduction d'une inconnue auxiliaire dans le système d'équations ([1] p. 42). En outre, les mesures linéaires se prêtent particulièrement bien au calcul d'ellipses ou d'ellipsoïdes d'erreur. Le Telluromètre, par exemple, permet la mesure de trajectoires courtes et fortement inclinées ; on sera alors amené, dans certains cas, à compenser simultanément les trois coordonnées et à calculer l'ellipsoïde d'erreur en un point ou plutôt la surface podaire de l'ellipsoïde dont l'équation est :

$$T_4 - m_1^2 (QT) = 0 \quad ([7] \text{ p. 355})$$

où  $T_4$  est un groupe de termes de 4<sup>e</sup> ordre indépendant de l'orientation des axes de coordonnées,  $m_1$  l'erreur moyenne quadratique relative au poids unité et  $(QT)$  une forme quadratique ternaire.

Pour les réseaux trilatérés Hiran, avec leurs longs côtés, on se bornera au calcul des ellipses d'erreur. Parfois certains praticiens déterminent ces courbes avant d'avoir calculé la valeur  $m_1$ , dont dépend l'échelle. Dans les réseaux triangulés, on connaît à peu près, *a priori*, l'ordre de grandeur de  $m_1$ . C'est la forme plus que l'échelle qui importe souvent. En trilatération, cet élé-

ment  $m_1$  ne sera connu qu'à la longue quant à son ordre de grandeur.

En résumé, on peut dire que la méthode Hiran ouvre des perspectives intéressantes ; il convient tout de même, dans ces réseaux, d'opérer des contrôles judicieux par les méthodes classiques, éventuellement par des observations astronomiques. Au point de vue économique, c'est une sujétion mais qui trouve sa contrepartie dans une bien plus grande sécurité quant à la précision des résultats.

#### LITTÉRATURE

- [1] BAESCHLIN, C. F. : *Sphärische Berechnungen von Streckennetzen* (Comm. géodésique, 1951).
- [2] GIGAS, E. : *Geodätische Entfernungsmessungen* (Frankfurt a/M., 1954).
- [3] LAURILA, S. : *Anwendung der elektronischen Methode Hiran* (Schweiz. Zeitschr. f. Vermessung, 1958).
- [4] RINNER, K. : *Reduktion grosser elektronisch gemessener Entfernungen* (Zeitschr. f. Verm. Wesen, 1956).
- [5] STRASSER, G. : *Das Tellurometer* (Zeitschr. f. Verm. Wesen, 1957).
- [6] ANSERMET, A. : *Sur l'application en géodésie des théorèmes de Gauss-Bonnet et Tchebychef-Darboux* (Schweiz. Zeitschr. f. Vermessung, 1958).
- [7] ANSERMET, A. : *Le calcul semi-graphique d'ellipsoïdes d'erreur mutuellement liés*. (Schweiz. Zeitschr. f. Vermessung, 1957).

## LE NOUVEAU WAGON A 18 ESSIEUX DES C.F.F.

par PIERRE BERGIER, ingénieur EPUL, Monthey

C'est en février 1957 que le nouveau wagon à 18 essieux pour transports lourds s'est élancé sur les rails des réseaux suisses et européens.

Pompeusement dénommé par la presse quotidienne de « wagon le plus solide d'Europe », de « géant des rails » ou encore de « dinosaure d'acier », ce wagon a

Fig. 1.

