Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 90 (1964)
Heft: 20

Artikel: L'électrotélémétrie et ses applications
Autor: Ansermet, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-67013

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: 09.12.2025

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

90e année Lausanne, 3 octobre 1964 N° 20

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)
de la Section genevoise de la SIA
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: E. Martin, arch. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; R. Guye, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre, arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr 34.—	Etranger	Fr. 38.—
Sociétaires	»	» 28.—	»	» 1.80
Prix du numéro . . .	»	» 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 350.—
1/2 »	» 180.—
1/4 »	» 93.—
1/8 »	» 47.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. 1000 Lausanne et succursales

SOMMAIRE

L'électrotélémétrie et ses applications, par A. Ansermet, ing.-prof.
Divers : Le Projet du Gabgaba, une variante du Projet du Haut Barrage d'Assouan.
Bibliographie. — Divers. — Les congrès. — Carnet des concours.
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.

L'ÉLECTROTÉLÉMÉTRIE ET SES APPLICATIONS

par A. ANSERMET, ing.-prof. [1]

Des progrès rapides furent réalisés au cours de ces dernières années en électrotélémétrie ; les possibilités d'application se multiplient. Parallèlement les résultats obtenus étaient plus précis ; pour une distance D à déterminer, l'ordre de grandeur de la précision variait entre $\pm D \cdot 10^{-5}$ et $\pm D \cdot 10^{-5,5}$. Actuellement, c'est même $\pm D \cdot 10^{-6}$, ce qui pose des problèmes dont la solution n'est pas très simple. En électro-optique, la distance D est limitée si on opère de jour ; en électronique il faut craindre les trajectoires rasantes par rapport au sol. Ce $\pm D \cdot 10^{-6}$ est une valeur limite.

On mesure $D = SS'$, où S et S' sont les stations conjuguées, puis $S'S$ ou $SS' + S'S = 2D$; en Suisse, les maisons Wild-Heerbrugg et Albiswerk ont construit le Distomat DI 50 à ondes non lumineuses ; on obtint, par exemple : Heerbrugg-Pizol = 47 650,28 m = SS' et $S'S$ = 47 650,33 m (15 mesures chaque fois). Les erreurs moyennes quadratiques de ces moyennes arithmétiques ne dépassaient pas $\pm$ 2 cm.

Récemment, en Argovie, pour d'assez importantes mesures, on utilisa le NASM-4 de Bergstrand, qui est électro-optique (voir [5]). Certains instituts universitaires, à l'étranger et en Suisse, obtinrent des résultats réjouissants.

[1] Rédigé en collaboration avec J. A. Déverin, assistant EPUL (physicien).

Quelques lignes seront consacrées ci-après au DI 50 et au SWW-1 (électro-optique), qui sont moins connus ; ce dernier est construit à l'est, le DI 50 est récent.

Le meilleur moyen de soumettre à une épreuve un électrotélémètre consiste à mesurer un réseau libre ou, encore mieux, rattaché.

Réseaux libres

Leur degré d'hyperdétermination laisse parfois à désirer et les erreurs d'étalonnage sont dangereuses ; un contrôle par une méthode classique est opportun. Chaque élément surabondant donne lieu à une équation de condition, mais le calcul des termes absolus de ces équations peut devenir laborieux, surtout si le réseau est spatial. Une autre solution consiste à faire varier les coordonnées des sommets du réseau en faisant application du principe des moindres carrés. Ce problème est bien connu.

Réseaux rattachés

Le calcul est plus complexe ; certains sommets sont déterminés à double. Les points $P_i(x_i y_i z_i)$ et $P'_i(x'_i y'_i z)'_i$, au lieu de coïncider, révèlent des discordances ($i = 1, 2, 3, 4, 5 \ldots$) qu'il faut éliminer, partiellement au moins. On a recours à des transformations, simultanément en combinant avec la méthode des moindres carrés ce qui n'est pas absolument exempt d'arbitraire.

La transformation dite d'Helmert, qui est conforme, est fréquemment appliquée ; un des systèmes P_i ou P_i' subit trois translations, une variation d'échelle, trois rotations. En général cela ne fournit pas une solution sans ambiguïté ; la condition :

$$[\varphi_x^2 + \varphi_y^2 + \varphi_z^2] = \text{minimum}$$

(trois i équations aux discordances où les φ_x, φ_y, φ_z sont les discordances à posteriori) fournit le système :

$$\Sigma\,(\varphi_x) = [\varphi_x] = [\varphi_y] = [\varphi_z] = 0\,;\quad [x\varphi_x + y\varphi_y + z\varphi_z] = 0$$

(voir [8])

$$[x\varphi_y - y\varphi_x] = 0 \qquad [y\varphi_z - z\varphi_y] = 0 \qquad [z\varphi_x - x\varphi_z] = 0$$

(sept inconnues, sept équations)

Ces discordances, si on les assimile à des forces, constituent un système en équilibre.

Pour les x, y, z les valeurs sont arrondies.

Transformation affine généralisée

Ici encore on a trop d'équations ; elles peuvent revêtir la forme suivante, dans l'hypothèse où les centres de gravité des deux systèmes P_i et P_i' coïncident comme ci-dessus :

$$\begin{cases} x_i' - x_i = (a_1x_i + s_3y_i + s_2z_i) + (r_2z_i - r_3y_i) - \varphi_{xi} \\ y_i' - y_i = (s_3x_i + a_2y_i + s_1z_i) + (r_3x_i - r_1z_i) - \varphi_{yi} \\ z_i' - z_i = \underbrace{(s_2x_i + s_1y_i + a_3z_i)}_{\text{déformation pure}} + \underbrace{(r_1y_i - r_2x_i)}_{\text{rotation}} - \varphi_{zi} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{trois } i \text{ équations aux discordances ;} \\ \text{neuf équations normales ;} \\ \text{neuf inconnues.} \end{cases}$$

On compense encore par les moindres carrés (voir [8]).

Les valeurs $a_1 = a_2 = a_3$, $s_1 = s_2 = s_3 = 0$ caractérisent la transformation d'Helmert.

Il y a encore d'autres solutions ; c'est un problème-fleuve.

Choix d'un électrotélémètre

Lorsqu'un réseau a été mesuré, on peut apprécier dans une certaine mesure la qualité d'un télémètre ; actuellement une concurrence assez âpre se manifeste entre les types électro-optiques et ceux à ondes non lumineuses. Des considérations d'ordre économique jouent un rôle, de même que la quantité de courant consommée, parfois assez élevée.

Si les circonstances ne permettent pas de mesurer un réseau, on opérera sur une base rigoureusement vérifiée ; on aura même recours à plus d'une base et les diverses valeurs obtenues donneront lieu à une compensation puisque pour la distance D on a en général la relation : $D = F(n, \lambda, K)$, où K est une constante instrumentale, λ la longueur d'onde (n ondes).

Pour mémoire, rappelons que pour de longues distances, quelques centaines de kilomètres, on dispose des systèmes HIRAN ou RAYDIST ; ce dernier utilise une longueur d'onde plus grande et l'avion peut voler à une altitude plus faible que pour le Hiran (intervisibilité des stations terminales évitable avec Raydist).

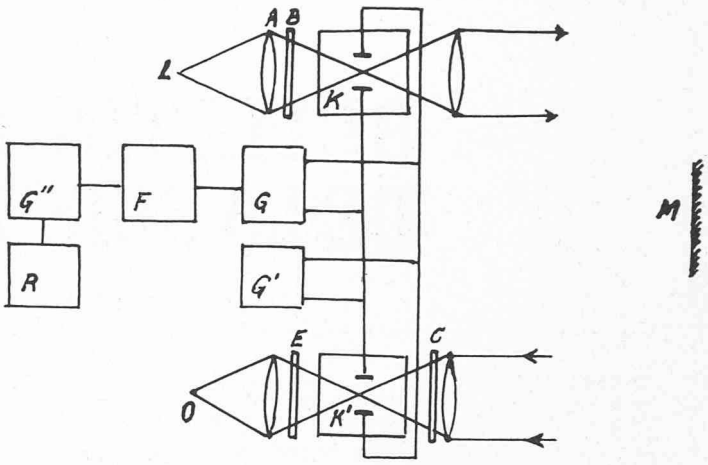

Fig. 1. — Télémètre SWW-1 (électro-optique).

Légende :

K, K'	Cellules de Kerr	A	Condenseur
B	Polariseur	G, G'	Générateurs
C	Analyseur-polariseur	F	Fréquence-mètre
E	Analyseur	G''	Générateur à quartz
O	Œil de l'observateur ou photo-multiplicateur	R	Récepteur

Le SWW-1 ([2], p. 248) comprend la source lumineuse L et, à la distance $SS' = D$, le miroir, qui n'est en général pas simple (M) ; pour moduler en amplitude on applique aux cellules K et K' une tension de haute fréquence provenant de G (9,6 à 10,4 MHz). La modulation est sinusoïdale, car G' fournit une haute tension constante, de basse fréquence, et de forme trapézoïdale ; celle-ci sert à la polarisation des condensateurs de Kerr ; la fréquence de modulation est mesurée par F, G'' et R.

La lumière polarisée émise est constituée par des rayons ordinaire et extraordinaire dont les plans de vibration respectifs sont mutuellement normaux. A la sortie de l'objectif émetteur il y a polarisation elliptique, mais les paramètres varient à cause de la différence de marche des rayons. Après réflexion en M cette lumière, polarisée elliptiquement, traverse C, qui est à la fois analyseur pour K et polariseur pour K'. La

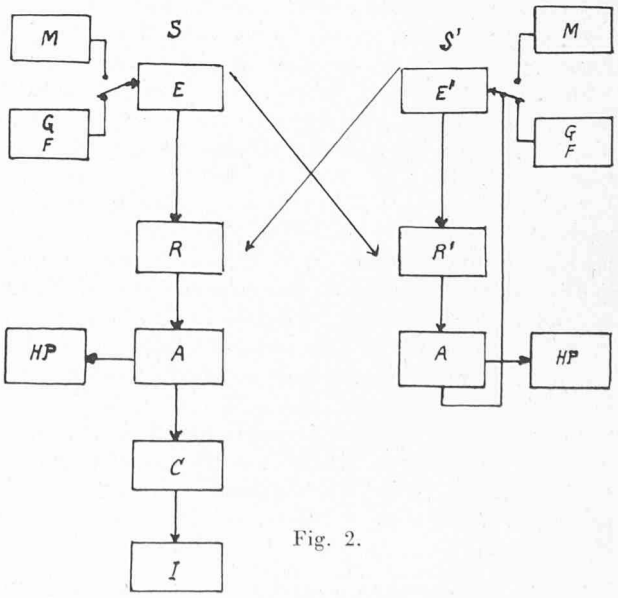

Fig. 2.

lumière, modulée en amplitude et polarisée linéairement, traverse K' puis, sous l'effet de la tension qui y est appliquée, en sort aussi elliptiquement polarisée. Ainsi la lumière qui émerge de E fut modulée en amplitude deux fois : la première fois par l'ensemble B, K, C, ensuite par le système C, K', E.

Les éléments F, G'' et R du SWW-1 servent à comparer les pulsations des lumières respectivement émise et reçue pour en déduire la différence de phase, donc $SS' = D$. En général les praticiens connaissent au préalable une valeur provisoire de D grâce à la documentation dont ils disposent (plans, cartes).

Calcul de la distance

Voici, sous forme condensée, les diverses formules (voir [2]) :

Soient respectivement u_m et u_p les tensions haute fréquence et de polarisation :

$$u_p = U_p \sin \Omega t, \quad u_m = U_m \sin \omega t\,; \quad \Omega \ll \omega$$

dans l'hypothèse où les tensions sont sinusoïdales, ceci pour simplifier. ω et Ω sont les fréquences des tensions HF et de polarisation. Le flux lumineux Φ émis par la cellule est :

$\Phi = \alpha u + \beta u^2$ (constantes α, β) ; $u = u_p + u_m$ d'où :

$$\Phi = \underbrace{\frac{\beta}{2}(U_m^2 + U_p^2)}_{\text{constant}} + \underbrace{\alpha U_p \sin \Omega t - \frac{\beta}{2} U_p^2 \cos 2\,\Omega t}_{\text{trop lentement variable}} -$$

$$- \underbrace{\frac{\beta}{2} U_m^2 \cos 2\,\omega t}_{\text{trop rapidement variable}} + \underbrace{\alpha U_m \left(1 + \frac{2\,\beta}{\alpha} U_p \sin \Omega t\right) \sin \omega t}_{\text{intervient seul dans les mesures visuelles}}\,;$$

par suite : $\Phi \cong \Phi_m (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega t = \Phi_m p_1$,

$$(\Phi_m = \alpha\, U_m)\,; \quad m = \frac{2\,\beta}{\alpha} U_p$$

p_1 représentant le pouvoir de transmission du premier modulateur tandis que p_2 sera celui du récepteur :

$$p_2 = (1 + m) \sin \omega t$$

le calcul étant analogue, les tensions appliquées à la cellule du récepteur étant :

$$u_p = U_p \qquad u_m = U_m \sin \omega t.$$

Soient t_1' et t_2' les constantes de temps de chaque cellule tandis que t_1'' et t_2'' sont celles des générateurs ; désignons de plus par τ la durée du parcours de la lumière le long de la distance à mesurer :

$$p_1 = (1 + m \sin \Omega t) \sin \omega\,(t - t_1' - t_1'' - \tau)\,;$$
$$p_2 = (1 + m) \sin \omega\,(t - t_2' - t_2'').$$

Puisque le temps $t_1' + t_1'' + \tau$ est faible, on peut la négliger dans le terme de basse fréquence en Ω. On a le pouvoir de transmission total : $p_t = p_1 p_2$.

Comme $\Omega \ll \omega$, le terme en Ω peut être considéré comme constant, d'où :

$$p_m = \frac{1}{2}(1 + m)(1 + m \sin \Omega t) \cos \omega\,(\tau + t_1' +$$
$$+ t_1'' - t_2' - t_2'') = \text{pouvoir de transmission moyen.}$$

Si Ω est assez faible pour que les variations d'intensité soient perçues par un observateur, celui-ci verra une lumière pulsante. Cependant la variation d'intensité dépend de τ ; elle est nulle si : $\cos \omega\,(\tau + t_1' + t_1'' - t_2' - t_2'') = 0$

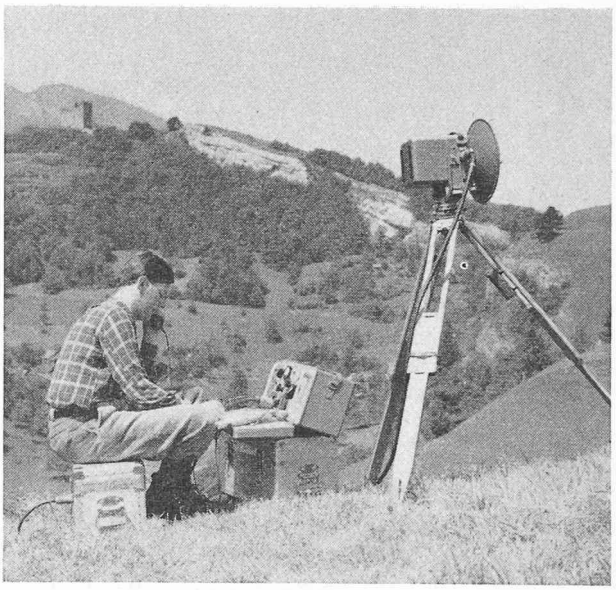

Fig. 3.

et par suite : $(\tau + t_1' + t_1'' - t_2' - t_2'') = (2n + 1)\dfrac{\pi}{2}$.

Si D est la distance parcourue par la lumière :

$$(1) \quad D = (2n + 1)\frac{c}{8f} + (t_2' + t_2'' - t_1' - t_1'')\frac{c}{2} =$$
$$= (2n + 1)\frac{\lambda}{8} + (K)$$

pour un minimum d'intensité.

$$(2) \quad D = 2n\frac{c}{f} + (K) \text{ avec } n = 0, 1, 2, 3 \ldots$$

pour un maximum d'intensité.

$\lambda = \dfrac{c}{f}$ = longueur d'onde de la modulation (fréquence f). $(K) \cong 0$.

Le SWW-1 des physiciens Wassiljew et Welitschko étant électro-optique, il est opportun de baser les mesures aussi sur un autre principe, pour pouvoir faire un choix.

Le radiotélémètre DI 50 de Wild-Heerbrugg-Albiswerk

Au lieu d'ondes lumineuses modulées en amplitude, donc en intensité, on mesure en principe la différence de phase entre deux ondes de fréquence connue, l'une directe, l'autre ayant couvert le trajet SS' puis $S'S$. Les micro-ondes électromagnétiques utilisées, de fréquence radio, constituent un faisceau dirigé et modulé en fréquence.

Les figures 2 (schémablock), 3 (DI 50 en station), 4 et 5, celles-ci examinées à la loupe, permettent de se rendre compte de l'ensemble ; en particulier, sur la figure 5, on voit le protocole relatif à la mesure de SS' = Heerbrugg-Pizol. Des corrections sont à apporter (état de l'atmosphère et si SS' est incliné) ; des tables sont utilisées. Voici la légende relative au schéma :

M	Microphone	HP	Haut-parleur
G	Générateur	A	Ampli à modulation de fréquence
F	Fréquence de mesure		
E, E'	Emetteurs	C	Circuit digital
R, R'	Récepteurs	I	Indicateur de distance

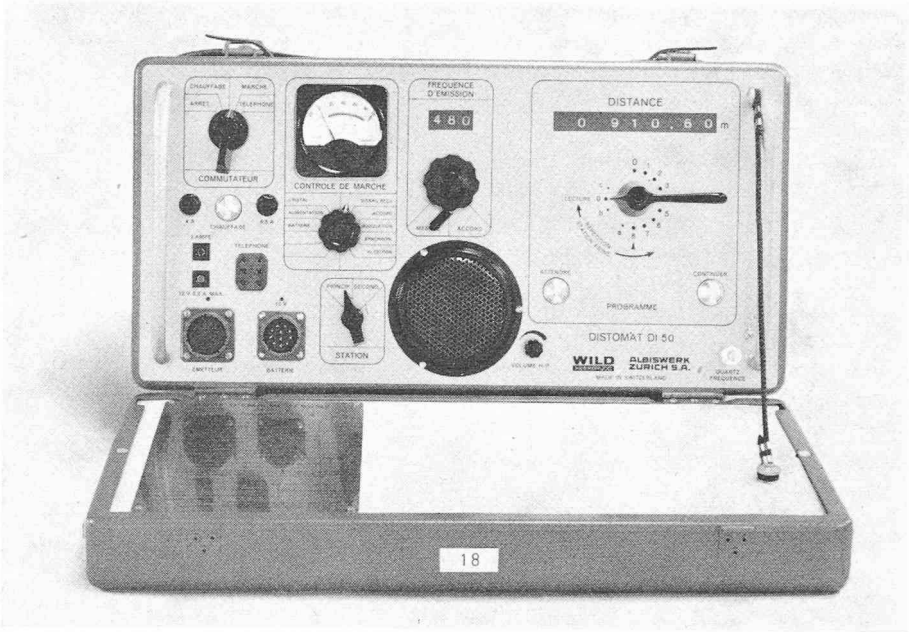

Fig. 4.

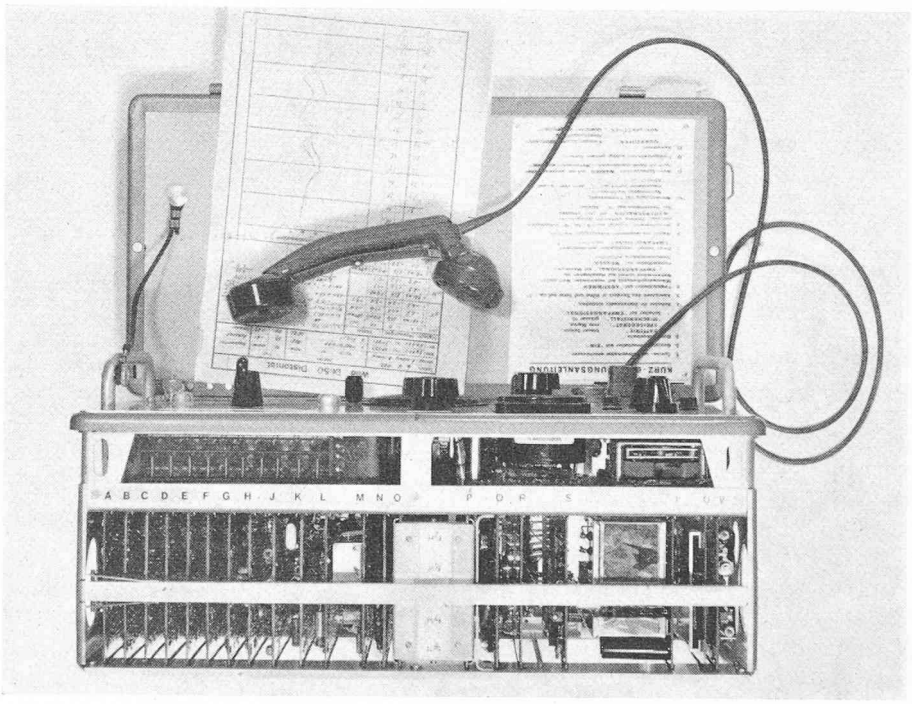

Fig. 5.

Ainsi que le montre le schéma, le DI 50 comprend deux ensembles, l'un pour la station principale S et l'autre pour la station S' à la distance $D = SS'$ (réflecteur actif).

Considérons un train d'ondes issu de l'émetteur en S ; il y a dissociation : une onde directe est transmise par câble de E à R, tandis qu'une autre est dirigée sur R' (station secondaire) par une antenne parabolique. Initialement, ces deux ondes ont la même phase.

L'onde reçue par R' est amplifiée puis acheminée sur E' en vue de son renvoi sur R. Ce dernier reçoit donc deux ondes : l'une directe, l'autre provenant du réflecteur actif (station antagoniste S'). Ces deux trains d'ondes sont amplifiés puis analysés grâce à un circuit. La différence des phases permet d'en déduire la durée pour parcourir le trajet, c'est-à-dire la distance à mesurer. Cette durée est enregistrée par l'analyseur puis un indicateur de distance fournit directement la valeur $SS' = D$.

La fréquence de mesure, donc de modulation, est fournie par un générateur à quartz (variation 13,5-15 MHz). Une erreur éventuelle d'étalonnage ou d'échelle est susceptible d'être contrôlée puis éliminée. Le système générateur de fréquence et surtout le cristal sont équipés d'un thermostat assurant la stabilité thermique, d'où une précision aussi poussée que possible.

La figure 4 est une vue frontale, tandis que dans la figure 5 le couvercle est rabattu pour noter les résultats.

L'ensemble mesureur peut être en permanence installé dans un véhicule (jeep), tandis que la batterie de ce dernier assure l'alimentation en courant. Le faisceau émis par l'antenne a une ouverture de 6° environ, ce qui facilite l'orientation. L'appareil travaille avec une onde porteuse de 3 cm.

Pour accroître la précision, il faut espacer les mesures, les répartir sur une période plus longue ; on élimine ainsi la covariance complètement ou presque. Les conditions atmosphériques (humidité) constituent encore un élément plus ou moins incertain. Il faut de plus craindre les trajectoires rasantes (aspérités du sol) ; à cet effet l'antenne peut être placée sur un pilier, un bâti. Le câble assurant à cet effet la liaison a jusqu'à 30 mètres de longueur ; celle-ci est limitée par le poids et le coût.

Contrôles, covariance

De l'avis des constructeurs, l'ordre de grandeur de la précision, pour des raisons en partie indépendantes de leur volonté, peut varier entre des limites assez étendues. Un moyen de contrôle consiste à amplifier une courte base mesurée à l'aide de fils d'invar (voir [9]).

Un problème plus complexe concerne la covariance, l'interdépendance des mesures ; les praticiens basent leurs calculs sur deux matrices réciproques : celle des poids et celle dite des comultiplicateurs (voir [10]). Le rôle de la covariance se manifeste dans les poids à posteriori mais parfois d'une façon un peu inattendue. Il n'est pas possible ici de s'étendre plus longuement sur ce problème.

En conclusion, on peut dire que l'électrotélémétrie progresse de façon réjouissante ; dans de nombreux cas les procédés classiques de mensuration céderont le pas à la nouvelle méthode développée dans les lignes qui précèdent.

LITTÉRATURE

[1] Blaser, J. P. : Nouvelles méthodes de mesures linéaires (S.Z.f.V., 1959, n° 10).
[2] Kondraschkov : Elektrooptische Entfernungsmessung (VEB, Berlin). Traduit du russe.
[3] Koll, O. : Methode der kleinsten Quadrate (Springer, Berlin).
[4] Linnik, V. : Method of the least Squares (Pergamon Press). Traduit du russe.
[5] Matthias, H. : Erste Geodimeterresultate (S.Z.f.V., 1963, n° 6).
[6] Ackerl, F. : Über die Genauigkeit des DI 50 (S.Z.f.V., 1963).
[7] Ansermet, A. : Projections conformes à variables non dissociées (S.Z.f.V., 1957).
[8] Ansermet, A. : Les transformations affine et d'Helmert en géodésie (S.Z.f.V., sept. 1962).
[9] Ansermet, A. : Rôle de l'électrotélémétrie en géodésie (S.Z.f.V., 1964, n° 1).
[10] Ansermet, A. : Compensation de quantités mesurées interdépendantes (S.Z.f.V., 1961).
(S.Z.f.V. = *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessung.*)

DIVERS

Le Projet du Gabgaba, une variante au Projet du Haut Barrage d'Assouan

En coopération avec d'éminents spécialistes, un avant-projet très prometteur pour une utilisation optimale des eaux du Nil a été préparé par une association internationale d'étudiants [1].

Le projet du Gabgaba a pour objet l'accumulation d'une partie importante des eaux de crue du Nil dans les bassins du Gabgaba et d'Alaki. L'eau ainsi retenue doit pouvoir être utilisée suivant les besoins pour l'irrigation et la production d'énergie électrique. D'après les données topographiques disponibles, ces bassins permettraient une accumulation interannuelle et — pour cela — une protection efficace pour l'Egypte contre les crues exceptionnelles.

En plaçant un bassin d'accumulation interannuelle hors du lit naturel d'un fleuve, on réunit toutes les conditions favorables pour un écoulement satisfaisant des sédiments en suspension. Dans le cas du Nil, il est donc possible d'assurer la continuation de la fertilisation naturelle des surfaces cultivables baignées par le fleuve au moyen du limon charrié par le courant.

Le projet du Gabgaba se fonde sur une idée égyptienne datant de plus d'un siècle et consistant à irriguer une partie du désert de Nubie. L'exécution de ce projet s'est révélée jusqu'à présent économiquement irréalisable du fait des importants déplacements de terres.

[1] International Student Association for Optimum Nile Control, Zurich et Bâle (Suisse) — Berkeley, Calif. (U.S.A.)

Le projet du Gabgaba comprend les trois éléments principaux suivants (fig. 1) :

1. Un barrage non loin d'Abou Hamed.
2. Un canal de liaison entre la vallée du Nil et le Wadi Gabgaba (voir fig. 1 et 3).
3. Un barrage de retenue dans le Wadi Alaki et un bassin d'accumulation de grande envergure dans le Wadi Alaki et le Wadi Gabgaba.

Le Barrage d'Abou Hamed

A l'endroit où le Nil se rapproche le plus du bassin supérieur du Gabgaba, à proximité d'Abou Hamed, au Soudan, il est prévu d'ériger une installation qui permettra de contrôler le débit du Nil et d'en déverser une partie dans le bassin du Gabgaba. A peu près un tiers du débit annuel est destiné à s'écouler par le lit naturel du Nil, tandis que les deux tiers restants doivent parvenir dans le bassin du Gabgaba en empruntant le canal de dérivation. Le canal doit être fermé durant la saison sèche (voir fig. 2). Seules les eaux de crues des mois d'août, septembre, octobre et novembre devraient donc être conduites dans le bassin latéral. Une telle régulation permet d'assurer un débit correspondant aux besoins de la population et de l'économie agraire sur le cours « primitif » du Nil.

Pour faciliter sur toute la longueur du Nil une évacuation suffisante des sédiments en suspension, le bassin de retenue d'Abou-Hamed servira, après aménagement, d'installation de dessablage. Cette installation peut être construite d'après le principe des dessableurs système Dufour, de façon que les eaux empruntant le canal du Gabgaba soient dépourvues de boues, cependant que celles qui s'écouleront par le lit naturel du Nil seront enrichies de sédiments.