Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 92 (1966)
Heft: 13

Artikel: Détermination par voie électronique de l'axe de longs tunnels
Autor: Ansermet, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68378

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

92e année Lausanne, 2 juillet 1966 N° 13

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.; M. Chevalier, 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. 40.—	Etranger	Fr. 44.—
Sociétaires	»	» 33.—		
Prix du numéro . . .	»	» 2.—	»	» 2.50

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. 385.—
1/2 »	» 200.—
1/4 »	» 102.—
1/8 »	» 52.—

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

SOMMAIRE

Détermination par voie électronique de l'axe de longs tunnels, par A. Ansermet, ingénieur, professeur.
Divers. — Actualité industrielle (33). — Bibliographie.
Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

DÉTERMINATION PAR VOIE ÉLECTRONIQUE DE L'AXE DE LONGS TUNNELS [1]

par A. ANSERMET, ingénieur, professeur

Divers projets de tunnels sont à l'étude ; certains, dits de base, seraient longs. On parle notamment de celui du Splügen ou de Thusis-Chiavenna (46 km). Au point de vue de leur mensuration, il en résulte des problèmes complexes ; les expériences faites, notamment lors de la construction du tunnel du Simplon, sont partiellement encore valables. Des progrès furent heureusement réalisés depuis, dans deux domaines surtout :

1° la mesure électronique des distances ;
2° la détermination des déviations de la verticale.

La mesure électronique est devenue courante, comme le montre la figure 3 ci-après, relative à l'emploi d'un télémètre à ondes lumineuses dans le tunnel du Bernardin.

En ce qui concerne les déviations de la verticale, élément dangereux, on procéda au Simplon par voie semi-empirique ; une densité moyenne 2,8 fut attribuée aux massifs montagneux. La tendance moderne consiste à assimiler les déviations à des inconnues, comprises dans la compensation, lors du calcul du réseau altimétrique. Le nombre des inconnues peut devenir élevé, comme on le verra ci-après ; ce n'est pas toujours un avantage.

Pour rendre moins abstrait le présent exposé, considérons (fig. 1) un fragment du réseau du Simplon avec les sommets B (Birgischwald), O (Oberried), R (Rosswald), H (Hüllehorn), M (Monte-Leone). *An-As* est l'axe du tunnel.

Le sommet M fut choisi comme origine d'un système spécial de coordonnées et la compensation effectuée par la méthode dite aux variations de coordonnées, ce qui facilitait le calcul des ellipses d'erreur des sommets ; à l'époque, on renonça à ce calcul. Grâce à l'amabilité du Centre de calcul électronique EPUL, cette lacune est comblée ; voici quelques résultats :

[1] Avec la collaboration du Centre électronique EPUL, de J. A. Déverin, ingénieur physicien, et R. Bornand, stud. ing.

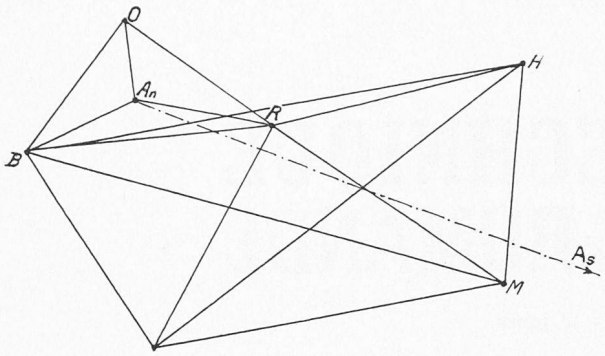

Fig. 1. — Fragment du réseau du tunnel du Simplon.

	Mx	My	Unité : le décimètre
Hüllehorn . .	± 0,31	± 0,30	Ces Mx, My sont des erreurs moyennes sur les x, y. Elles fournissent des paires de tangentes aux ellipses.
Oberried . .	± 0,46	± 0,42	
An	± 0,37	± 0,36	
Monte-Leone .	0,00	0,00	

Hypothèses

Avant de poursuivre, formulons des hypothèses destinées à apporter quelques simplifications :

a) les têtes du tunnel sont voisines d'une même surface de niveau ;

b) des repères de nivellement, dont les altitudes sont connues, existent dans le voisinage de ces têtes ;

c) pour la planimétrie, on choisit un système spécial de coordonnées conformes à axe neutre, cet axe coïncidant de préférence avec celui du tunnel. (Le système suisse est aussi à axe neutre) ;

d) les déviations de la verticale seront définies par deux composantes, l'une de celles-ci étant parallèle à l'axe du tunnel ;

e) on fera abstraction de la double courbure du sphéroïde terrestre ; le rayon adopté R sera tel que $R^2 = MN$, M et N étant les rayons principaux à l'origine (M varie comme le cube de N).

En général cette dernière hypothèse est justifiée, car si on applique l'une sur l'autre des calottes à double et simple courbure (fig. 2) il en résulte un écart ou déchi-

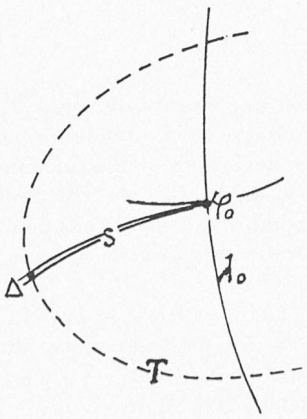

Fig. 2.

rure linéaire $\Delta = ks^4$ ([2] p. 257) où le facteur k est fonction de la latitude φ_o et de l'azimut de s :

$$\Delta \leq 1 \text{ cm.} \qquad \text{Pour } s = 184 \text{ km.}$$

Quant à l'hypothèse sous lettre *c*, elle est rationnelle ; les transformées planes des côtés du réseau su-

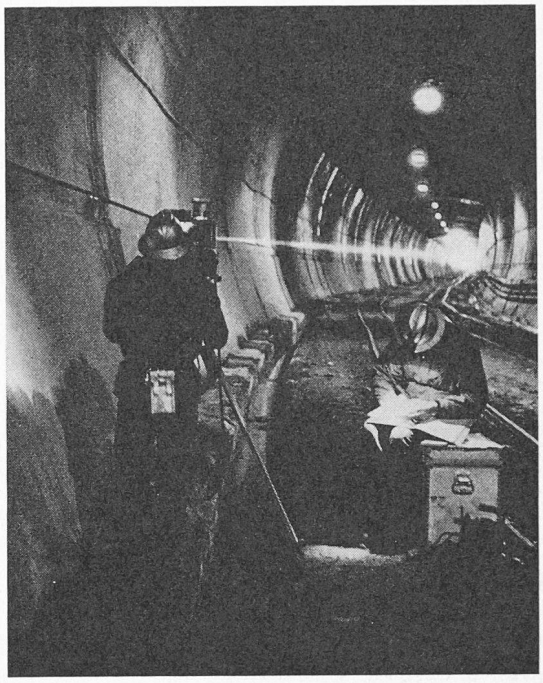

Fig. 3. — Télémètre à ondes lumineuses.

bissent des déformations, altérations de courbures. Or le calcul de ces altérations est particulièrement simple en coordonnées conformes. Ce problème fut du reste amplement traité dans le *Bulletin technique* nº 4, 1957, en s'appuyant sur la magistrale solution développée par G. Darboux.

Discordances

Il faut distinguer trois écarts à la rencontre des galeries : sur les x (longitudinal), les y (transversal) et les z (altimétrique) ; c'est le second qui est l'élément critique.

Ces considérations générales étant énoncées, il convient d'énumérer les mesures à effectuer, en commençant par les linéaires ; à l'intérieur du tunnel, on utilisera sans hésitation un télémètre à ondes lumineuses (fig. 3).

A l'extérieur, le problème est plus complexe ; à la lumière diurne on ne peut guère dépasser 3 km de distance à mesurer, eu égard à la précision exigée. Or le réseau du Simplon comprend des côtés atteignant 16 km de longueur (Hüllehorn-Genuina). Pour des tunnels de base, ce serait davantage sans doute. Les télémètres à ondes lumineuses sont nombreux et bien connus ; l'un de ceux-ci, le SWW-1, construit à l'est par les physiciens Wassiljew et Welitschko, fut décrit déjà succinctement dans le *Bulletin technique* (voir [4]). Une caractéristique de ce SWW-1 réside dans la présence de deux cellules de Kerr, l'une émettrice, l'autre réceptrice ; à l'extrémité du côté mesuré est un miroir.

Dans la même publication ([4]), quelques lignes furent consacrées au *Distomat DI.50*, réalisé grâce à une collaboration des maisons Albiswerk AG., Zurich, et Wild, Heerbrugg. Ce télémètre était au stand de la maison Wild, à l'Exposition de 1964. Ce DI.50 a fait récemment ses preuves lors de mensurations effectuées dans le réseau géodésique suisse (voir [6]). L'alimentation en courant était obtenue au moyen d'accumulateurs au plomb. Les constantes instrumentales, respectivement

additive et multiplicative, furent déterminées, la première en opérant sur une base-étalon de 100 m, la seconde en effectuant, en laboratoire, des épreuves comparatives quant à la fréquence.

Le principe, rappelons-le, est le suivant :

Entre les extrémités A et B de la distance à mesurer est réalisée une liaison par micro-onde, la fréquence de la porteuse étant comprise entre 10 235 MHZ et 10 485 MHZ (longueur d'onde 2,9 cm environ). Cette porteuse est modulée par la fréquence de mesure ; par un choix approprié, on réussit à ramener le problème de la mesure de AB à celui de la détermination d'une différence de phase. Celle-ci est proportionnelle au temps que met l'onde électromagnétique pour parcourir AB, donc proportionnelle à cette distance ; la détermination de la distance AB est donc simple.

A cet effet quatre unités linéaires interviennent : 20 km, 1 km, 100 m, 10 m. Elles correspondent à des fréquences de mesures propres et, pour chaque unité, il faut deux mesures de phase, dont la différence fournit un résultat partiel. La valeur précise pour AB dépend du résultat fourni par l'unité 10 m. Les diverses mesures de différences de phase ont lieu en comptant par voie digitale les impulsions de mesure à l'aide d'un compteur électronique.

Il convient, au sujet des mesures linéaires, de rappeler que les constructeurs de télémètres fournissent la documentation nécessaire pour tenir compte des circonstances atmosphériques ; des tabelles sont destinées à réduire à l'horizon les distances mesurées. Enfin les mesures électroniques sont bien plus indépendantes du temps que les observations effectuées par voie angulaire ; pour celles-ci les circonstances atmosphériques jouent un grand rôle.

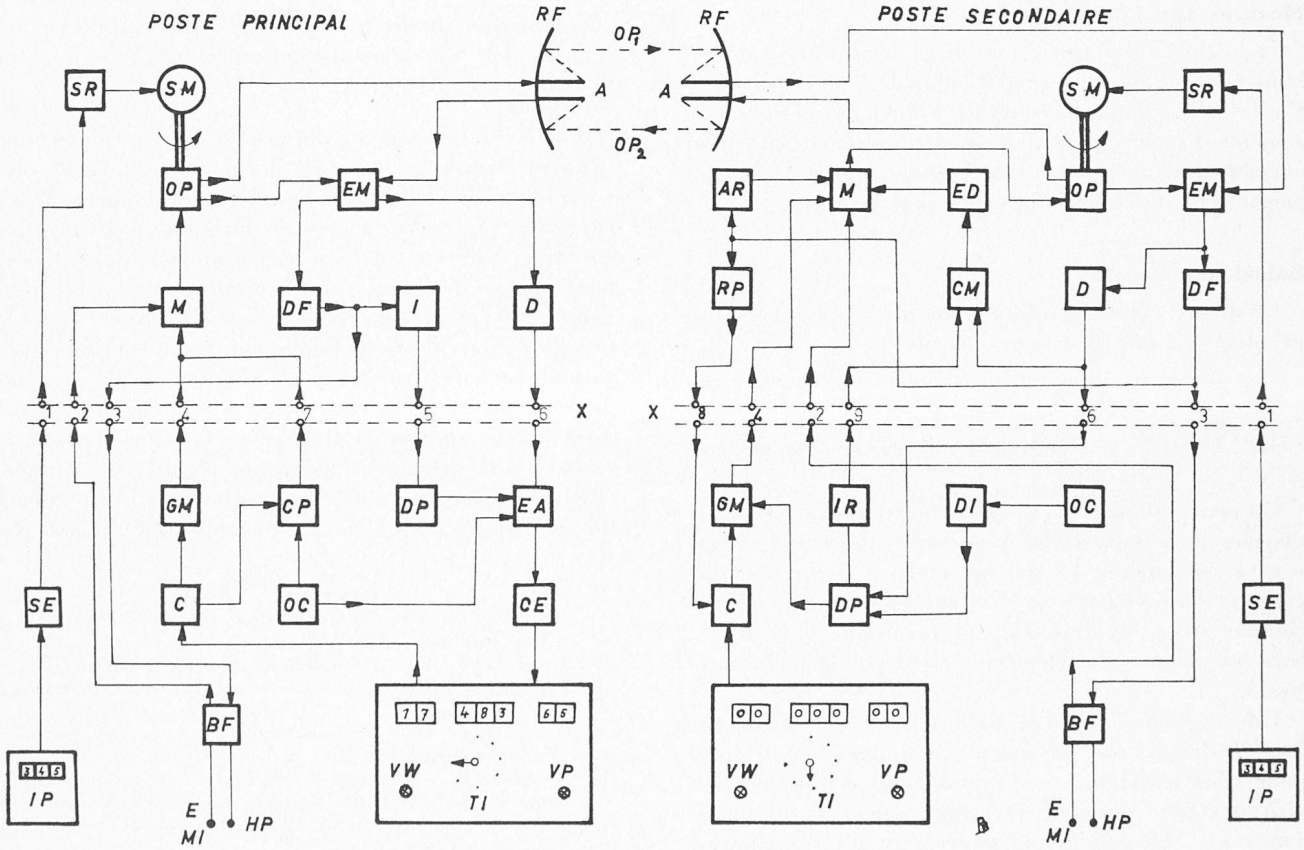

Fig. 4. — Schémablock simplifié.

A	Antenne
AR	Amplificateur de réglage
BF	Amplificateur BF (micro, écouteur, HP)
C	Commutateur
CE	Compteur électronique
CM	Commutateur de modulation
CP	Circuit pilote
D	Démodulateur
DF	Etage discriminateur de fréquence
DI	Etage diviseur de fréquence
DP	Etage discriminateur de phase
E	Ecouteur
EA	Entrée appareil de mesure
ED	Etage différenciateur
EM	Etage mélangeur
GM	Générateur fréquence de mesure
HP	Haut-parleur
I	Inverseur
IP	Indicateur fréquence porteuse
IR	Indicateur de repos
M	Modulateur
MI	Microphone
SE	Servo-émetteur
OC	Oscillateur de comptage
OP	Oscillateur de l'onde porteuse
OP^1	Onde porteuse station principale
OP^2	Onde porteuse station secondaire
RF	Réflecteur parabolique
RP	Récepteur pilote
SM	Servo-moteur
SR	Servo-récepteur
TI	Tableau indicateur
VP	Voyant « Proceed »
VW	Voyant « Wait »
X	Câble de liaison

Signaux

1	Servo-signal du Klystron
2	Signal d'émission en « phonie »
3	Signal de réception en « phonie »
4	Signal de la fréquence de mesure
5	Signal modulation de fréquence
6	Signal modulation d'amplitude
7	Signal d'émission pilote
8	Signal de réception pilote
9	Signal du commutateur de modulation

Déviations de la verticale

Cet élément perturbateur joue un rôle planimétriquement et altimétriquement ; il est dangereux surtout lorsque les visées sont fortement inclinées. Une de ses composantes φ_x est, par hypothèse, parallèle à l'axe du tunnel (axe des abscisses). Au réseau du Simplon on a, par exemple, obtenu par voie semi-graphique :

$$\varphi_x = -20''5 \text{ (sexag)}$$
$$\varphi_y = +5''4 \text{ (station Oberried)}$$

mais les axes x, y étaient orientés autrement. La résultante était 21″2. Planimétriquement la correction à faire subir à une direction mesurée atteignait 5″, ce qui n'est pas négligeable.

Une remarque essentielle s'impose ; la détermination de ces φ_x, φ_y n'est pas un but. A l'avenir ce seront des inconnues et leur élimination, au cours des calculs, peut être envisagée.

Mesures angulaires

Les dispositions prises lors de la mensuration du réseau du Simplon sont, pour la plupart, encore valables. Toutefois les longs côtés feront l'objet de mesures non seulement réciproques mais aussi simultanées en ce qui concerne les angles verticaux. Les instruments modernes permettent de réaliser de belles performances.

Calcul des réseaux

C'est, à certains égards, l'étape la plus complexe du problème. Il faut distinguer en effet :

I Le réseau altimétrique y compris les inconnues φ_x, φ_y.
II Le réseau planimétrique résultant des mesures angulaires
III Le réseau résultant de mesures linéaires lequel pourrait être spatial

On peut combiner éventuellement les réseaux II et III mais les poids mutuels des mesures angulaires et linéaires sont à déterminer, ce qui est malaisé. Pour une distance D mesurée par voie électrotélémétrique on admet, comme ordre de grandeur, la précision $\pm D \cdot 10^{-5,5}$; tous les modèles de télémètres n'ont pas la même précision.

Une hypothèse est à la base des compensations par les moindres carrés : des calculs préliminaires ont fourni pour tous les éléments du problème (coordonnées et altitudes des sommets, etc.) des valeurs provisoires, arbitraires. Les vraies inconnues sont les variations à faire subir à ces éléments pour obtenir les valeurs compensées ; il en résulte que les équations sont linéaires par rapport à ces inconnues. On pourrait les appeler les équations en φ. Par exemple, pour un côté AB dont la longueur est mesurée, on a

$$(1) \quad \varphi_i = a_i(dx_A - dx_B) + b_i(dy_A - dy_B) + f_i \text{ (poids } p_i) \qquad i = 1, 2, 3 \ldots$$

où le terme absolu est la différence entre la valeur provisoire et la valeur mesurée, tandis que les dx, dy sont les variations inconnues.

Les équations en φ du réseau altimétrique sont aussi linéaires :

$$(2) \quad \varphi_i = F(dH_a, dH_b, \varphi_x, \varphi_y) + f_i \qquad \text{pour le côté } AB$$

Les dH_a, dH_b sont des variations d'altitude. Les f_i ne sont pas les mêmes pour les systèmes (1) et (2).

Il faut unifier ces divers éléments quant aux dimensions.

Quant aux mesures angulaires planimétriques, elles font l'objet d'un calcul, conformément à ce qui eut lieu au Simplon.

En conclusion, en l'absence d'un cas déterminé (Thusis-Chiavenna, Amsteg-Giornico, etc.), seules des considérations générales ont pu être développées. Théoriquement un réseau à mesures linéaires, par voie électronique, suffirait ; dans le cas d'un long tunnel, une combinaison de mesures linéaires et angulaires est désirable. Le calcul sera effectué de préférence par la méthode aux variations de coordonnées et en représentation conforme. Au réseau du Simplon on n'utilisa pas de coordonnées conformes, ce qui étonne un peu. Il faut dire que la magistrale théorie de G. Darboux sur le choix d'une projection conforme n'était pas connue. Quel que soit le mode de calcul, il faut réaliser un degré d'hyperdétermination élevé sans trop se préoccuper des frais.

LITTÉRATURE

[1] Rosenmund, M. : *Die Bestimmung der Richtung des Simplontunnels* (Berne, 1901).
[2] Roussilhe, H. : *Astronomie appliquée et géodésie* (Paris).
[3] Kondraschkov : *Elektrooptische Entfernungsmessung* (VEB, Berlin).
[4] Ansermet, A. : *L'électrotélémétrie et ses applications* (Publication EPUL, 1965).
[5] Ansermet, A. : Sur la détermination de l'axe de longs tunnels (*Zeitschrift für Vermessung*, nº 12, 1965).
[6] Fischer, W. : Distomat Messungen (*Schw. Zeitschr. f. Vermessung*, nº 1, 1966).

DIVERS

« Pro Téléphone AG » à Bienne

L'assemblée générale de « Pro Téléphone AG. » a siégé à Bienne, vendredi 3 juin 1966.

Après l'adoption de l'ordre du jour et du budget, de nouveaux membres ont été élus au Comité directeur, entre autres M. *G. Schilplin*, directeur général à SODECO (Genève), premier Romand membre du comité de « Pro Téléphone AG. ». Puis M. *C. Lancoud*, directeur des Télécommunications à la Direction générale des PTT, à Berne, a parlé des besoins des télécommunications au cours des prochaines années. A l'aide de nombreux graphiques très bien étudiés, M. Lancoud a montré l'effort considérable de modernisation et d'installation nécessaire pour pourvoir aux besoins des télécommunications jusqu'en l'an 2000.

M. *G. A. Wettstein*, président de la Direction des PTT, succéda à M. Lancoud. M. Wettstein souligna le rôle et l'importance de « Pro Téléphone ». Cette organisation de liaison entre l'industrie et les PTT d'une part, entre les abonnés et les PTT d'autre part, permet une « planification à long terme et une répartition judicieuse des moyens d'assistance et de propagande », selon les termes mêmes de M. Wettstein. M. *W. Werdenberg*, président de l'assemblée de « Pro Téléphone », remercia M. Wettstein et lui présenta ses meilleurs vœux pour sa prochaine retraite, vœux auxquels le *Bulletin technique de la Suisse romande* se permet de s'associer vivement.