

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 70 (1944)
Heft: 15

Artikel: Etude de la précision des cercles divisés
Autor: Ansermet, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-53253>

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>

Etude de la précision des cercles divisés

par A. ANSERMET, ingénieur.

Dans le numéro du 13 novembre dernier du *Bulletin technique*, M. le professeur Ch. Blanc a publié un article très intéressant sur les séries de Fourier et leur application¹. Dans le domaine de la technique instrumentale, ces séries jouent également un rôle et leur emploi facilite notamment le calcul des erreurs périodiques des cercles divisés.

Les lignes qui suivent sont consacrées principalement à la méthode du professeur Heuvelink, de l'Ecole polytechnique de Delft, qui est maintenant d'un emploi courant. Cette méthode comporte une compensation d'après le principe des moindres carrés car le nombre des mesures effectuées est bien supérieur à celui des inconnues ; toutefois le calcul se simplifie beaucoup en tenant compte de l'orthogonalité qui se traduit par l'élimination, dans les équations normales, des termes dits non-quadratiques. Les inconnues du problème sont les coefficients d'une série trigonométrique $F_n(x)$ et ainsi que l'a rappelé M. Blanc, il s'agit de rendre *minimum* l'expression

$$M_n^2 = \int_{-l}^{+l} [f(x) - F_n(x)]^2 dx$$

où $f(x)$ est une fonction quelconque. C'est le principe des moindres carrés appliqué aux résidus $[f(x) - F_n(x)]$.

Les mesures sur le cercle s'effectuent comme suit :

1^o Chaque mesure est la moyenne de deux lectures faites en deux points diamétralement opposés du cercle divisé. L'erreur périodique à calculer sera donc celle d'un diamètre du cercle et non d'une division déterminée.

2^o Un angle choisi arbitrairement à priori β (p. ex. : 45°) est mesuré plusieurs fois en modifiant l'orientation du cercle chaque fois. Chaque mesure comporte donc une lecture initiale φ et une lecture finale ($\varphi + \beta$), les valeurs de φ variant au fur et à mesure d'une façon régulière sur tout le pourtour d'un demi-cercle (p. ex. : $\varphi = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ, \dots, 160^\circ$).

Pour chaque angle, il faut distinguer entre la valeur directement mesurée p qui varie quelque peu d'une mesure à l'autre et la valeur la plus plausible α , encore inconnue. Aucune de ces valeurs ne concorde rigoureusement avec β qui est un nombre rond en général.

En d'autres termes, l'instrument doté d'un cercle divisé est placé en un point P à partir duquel on vise deux repères P_1P_2 tels que l'angle P_1PP_2 soit susceptible de déterminations très précises. Les différences $(p - \alpha)$ seront donc très faibles.

¹ « Les séries de Fourier et leur application à certaines intégrations », par Ch. Blanc, professeur à l'Ecole d'ingénieurs de l'Université de Lausanne. *Bulletin technique*, 1943, p. 297.

L'erreur périodique afférente à la division a la forme : $a \sin(2\varphi + A) + b \sin(4\varphi + B) + c \sin(6\varphi + C) \dots$ les termes en $\varphi, 3\varphi, 5\varphi \dots$ s'éliminant grâce à l'emploi de deux microscopes diamétralement opposés.

Chaque mesure de l'angle P_1PP_2 fournit un résidu φ :

$$\begin{aligned} \varphi = & -(p - \alpha) + a \sin(2\varphi + A) - a \sin(2\varphi + 2\beta + A) \\ & + b \sin(4\varphi + B) - b \sin(4\varphi + 4\beta + B) \\ & + c \sin(6\varphi + C) - c \sin(6\varphi + 6\beta + C) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots$$

ou aussi :

$$\begin{aligned} \varphi = & -(p - \alpha) - 2a \sin \beta \cos(2\varphi + \beta + A) \\ & - 2b \sin 2\beta \cos(4\varphi + 2\beta + B) \\ & - 2c \sin 3\beta \cos(6\varphi + 3\beta + C) \end{aligned} \quad \dots \dots \dots$$

identique à l'expression

$$\begin{aligned} \varphi = & -(p - \alpha) + x_1 \cos 2\varphi + y_1 \cos 4\varphi + z_1 \cos 6\varphi \dots \\ & + x_2 \sin 2\varphi + y_2 \sin 4\varphi + z_2 \sin 6\varphi \dots \end{aligned}$$

où $a^2 = \frac{x_1^2 + x_2^2}{4 \sin^2 2\beta}$, $b^2 = \frac{y_1^2 + y_2^2}{4 \sin^2 4\beta}$, $c^2 = \frac{z_1^2 + z_2^2}{4 \sin^2 6\beta}$

$$\operatorname{tg}(\beta + A) = -\frac{x_2}{x_1}, \operatorname{tg}(2\beta + B) = -\frac{y_2}{y_1}, \operatorname{tg}(3\beta + C) = -\frac{z_2}{z_1} \dots$$

de plus $[\varphi]^n = \text{minimum}$ ($\dots = \text{somme}$)

On sait calculer les coefficients mais ici les intégrales deviennent des sommes

$$x_1 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \cos 2\varphi] \quad x_2 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \sin 2\varphi]$$

$$y_1 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \cos 4\varphi] \quad y_2 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \sin 4\varphi]$$

$$z_1 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \cos 6\varphi] \quad z_2 = \frac{2}{n} [(p - \alpha) \sin 6\varphi]$$

$$\dots \dots \dots \quad n\alpha = [p] \quad \dots \dots \dots$$

sommes étendues aux n mesures effectuées.

On pourrait aussi avoir recours non pas aux coefficients auxiliaires $x_1 x_2 y_1 y_2 z_1 z_2 \dots$ mais à des valeurs approchées des inconnues $a, b, c \quad A, B, C \dots$; cette solution, d'un usage courant, est à déconseiller ici car les inconnues sont ou très faibles ou mal déterminées.

Calcul des poids et erreurs moyennes.

On voit sans peine que les coefficients auxiliaires ont tous le même poids $\frac{n}{2}$.

En appliquant la propriété dite « d'invariance » de la loi de Gauss aux relations

$$a^2 = \frac{x_1^2 + x_2^2}{4 \sin^2 2\beta}, \quad b^2 = \dots \quad \beta + A = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \left(-\frac{x_2}{x_1} \right) \dots$$

on calcule les erreurs quadratiques et les poids

$$M_a^2 \cdot P_a = M_b^2 \cdot P_b \dots = M_A^2 \cdot P_A = M_B^2 \cdot P_B \dots = M^2$$

où $M^2 = \frac{[\varphi]^n}{r}$ (r mesures surabondantes)

$$M_a = \frac{M}{\sqrt{2n \sin \beta}} \quad P_a = 2n \sin^2 \beta \quad P_b = 2n \sin^2 2\beta \dots$$

$$M_A = \frac{M}{\sqrt{2n \cdot a \sin \beta}} \quad P_A = 2n a^2 \sin^2 \beta \quad P_B = 2n b^2 \sin^2 2\beta \dots$$

$$\frac{P_A}{P_a} = a^2, \quad \frac{P_B}{P_b} = b^2 \dots$$

L'angle β ne doit donc pas être trop petit ; la petitesse des valeurs $a, b, c \dots$ rend précaire le calcul des $M_A, M_B, M_C \dots$

Exemples. A titre comparatif et pour se rendre compte de l'ordre de grandeur des coefficients voici quelques résultats obtenus au moyen de deux instruments modernes : les théodolites Wild (universel) et Zeiss II.

Les valeurs suivantes sont à la base des mesures :

$\beta = 45^\circ$; les observations comprennent 4 séries avec lectures de 20 en 20° : $\varphi = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ \dots 160^\circ$ ($n = 4 \times 9 = 36$)

Instrument Wild : Erreur périodique (diamétrale) = $-0'',23 \sin(2\varphi + 137^\circ,6) - 0'',08 \sin(4\varphi + 46^\circ,2) - 0'',08 \sin(6\varphi + 248^\circ,9) \dots$

Instrument Zeiss : $0'',50 \sin(2\varphi + 50^\circ,7) + 0'',13 \sin(4\varphi + 13^\circ,5) + 0'',07 \sin(6\varphi + 35^\circ,2) \dots$

avec les erreurs moyennes :

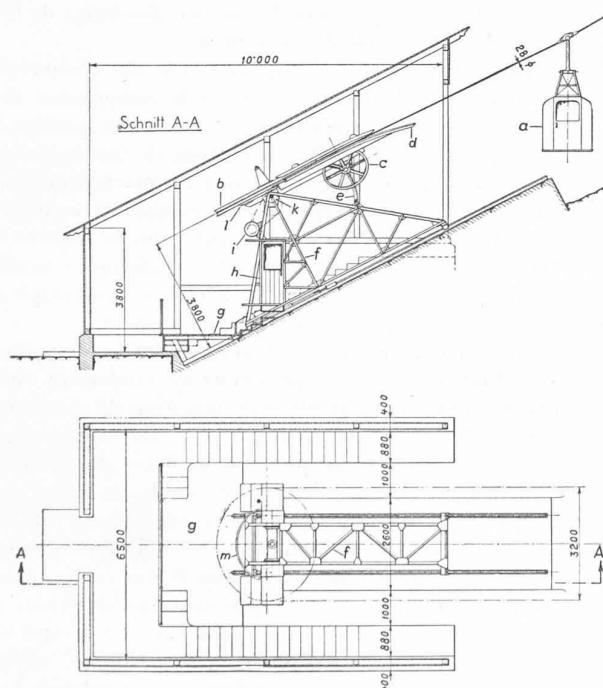


Fig. 1. — Station inférieure avec dispositif tendeur et commande électrique du câble.

Légende :
 a = Véhicules à fixation articulée aux jointures du câble porteur-tracteur unique sans fin ; b = Poules de renvoi, à inclinaison réglable ; c = Poules de guidage du câble, en position oblique ; d = Rails d'arrivée et de départ pour le véhicule ; e = Dispositif de réglage de l'inclinaison des poules ; f = Châssis-chariot déplaçable hydrauliquement, pour le réglage de la tension du câble, position la plus basse ; g = Estrade d'accès déplaçable parallèlement au châssis-chariot ; k = Poste de commande monté dans le châssis-chariot ; i = Moteur avec transmission à poules ; l = Réducteur avec frein de secours automatique ; m = Guidages pour le véhicule ; n = Châssis de support de la poule de renvoi.

$$a = 0'',50 \pm 0'',10, \quad b = 0'',13 \pm 0'',07, \quad c = 0'',07 \pm 0'',10 \dots$$

$$A = 50'',7 \pm 10^\circ,9, \quad B = 13^\circ,5 \pm 30^\circ,3, \quad C = 352^\circ,2 \pm 79^\circ,3 \dots$$

Ces chiffres sont révélateurs de la haute précision de la graduation (pour plus de détails voir « Zeitschrift für Instrumentenkunde », 1928, 1935). Les erreurs moyennes M_A, M_B, M_C deviennent grandes ; il faudrait multiplier le nombre de mesures n mais pratiquement il y a des limites.

Economie dans la construction des téléfériques à va-et-vient pour transport de personnes.

Primitivement, les téléfériques à voyageurs ne furent souvent qu'une adaptation d'installations destinées aux transports des matériaux manquant souvent des dispositifs de sécurité indispensables. A cela s'ajoutait parfois une utilisation peu logique des câbles dont on connaissait mal les lois d'usure et dont la technique de construction n'avait pas atteint, tant en ce qui concerne les matières premières que les modes de fabrication, la perfection actuelle. On s'efforça dès lors de remédier à l'insécurité de telles instal-

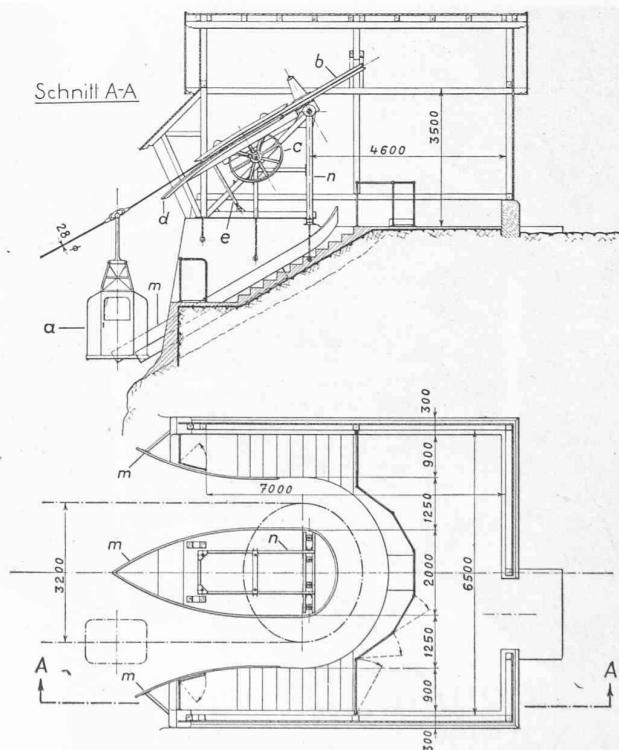


Fig. 2. — Station supérieure pouvant être prévue aussi comme station motrice.