

# Sur le calcul de réseaux hyperdéterminés à mesures linéaires

Autor(en): **Ansermet, A.**

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 6

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-215233>

## **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.

# Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie

Revue technique Suisse des Mensurations, du Génie rural et de Photogrammétrie

Herausgeber: Schweiz. Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik; Schweiz. Kulturingenieurvereln; Schweiz. Gesellschaft für Photogrammetrie

Editeur: Société suisse des Mensurations et Améliorations foncières; Société suisse des Ingénieurs du Génie rural; Société suisse de Photogrammétrie

Nr. 6 · LVII. Jahrgang

Erscheint monatlich

15. Juni 1959

## Sur le calcul de réseaux hyperdéterminés à mesures linéaires

*Par A. Ansermet*

Grâce à l'initiative heureuse prise par la Rédaction de notre Revue, les lecteurs sont maintenant passablement orientés sur certaines méthodes modernes de mesures linéaires, tout au moins en ce qui concerne le problème au point de vue instrumental. Il y a lieu maintenant d'examiner succinctement dans quelles conditions on peut tirer le meilleur parti de ces mesures pour en obtenir un rendement qui justifie l'application de ces méthodes dans la pratique courante.

### *Considérations préliminaires*

Comme en triangulation les canevas résultant de mesures linéaires sont susceptibles de revêtir diverses formes:

- 1° des chaînes non fermées, rattachées ou non à des points ou côtés déjà connus, à mailles triangulaires (chaînes simples ou doubles), à mailles quadrangulaires;
- 2° des chaînes fermées (couronnes) dont la structure peut varier;
- 3° des réseaux à mailles triangulaires ou quadrangulaires;
- 4° des réseaux secondaires (Füllnetze) destinés à remplir le vide à l'intérieur de chaînes fermées (figure 1).

Cette discrimination n'a du reste rien d'absolu; elle met en évidence la complexité des problèmes à résoudre et la diversité des solutions.

Dans certains réseaux à grandes mailles l'étendue du territoire nécessite le calcul sur une surface. Les développements ci-après portant surtout sur des calculs d'erreurs on se bornera à considérer des schémas contenus dans un plan; la corrélation entre la surface et le plan n'est pas malaisée à établir. Le schéma le plus simple est constitué par une chaîne à mailles triangulaires, simple, non fermée, non rattachée. Cette solution fut étudiée déjà sous tous ses aspects; elle ne comporte pas de compen-

sation d'où sa grande simplicité mais aussi ses désavantages qui sont manifestes.

Un élément assez critique, dans de nombreux cas, est constitué par le poids à attribuer aux quantités mesurées. Dans les systèmes à grandes mailles notamment l'inverse du poids revêt la forme d'un binôme dont seul un des termes dépend de la longueur à mesurer. On a cherché, par des étalonnages judicieusement conçus, à attribuer une valeur standard pour le terme indépendant de la distance. D'autre part, la structure du réseau joue aussi un rôle; si on peut réaliser l'égalité, ou à peu près, des longueurs des côtés il en est de même des poids respectifs. Or, en aéro-téléométrie on a plus de liberté dans ce domaine puisque la visibilité entre sommets n'est pas de rigueur. Il est possible d'atténuer des écarts de poids en fixant, pour chaque côté, un nombre de mesures tenant compte de la longueur du côté. Cette question sera encore évoquée ci-après en développant les modes de calcul.

### *Le problème des rattachements*

Des éléments de rattachement sont, à certains égards, plus nécessaires pour les réseaux téléométrés qu'en triangulation. Il peut s'agir de points déterminés astronomiquement; des circonstances de caractère économique jouent aussi un rôle dans ce cas.

Considérons le petit réseau de la figure 2 comportant 12 points nouveaux; on désire déterminer les 24 coordonnées et leurs erreurs moyennes quadratiques  $M_x$  et  $M_y$ . Or, 21 coordonnées seulement sont inconnues et le calculateur peut être mis dans l'embarras pour faire un choix; un certain arbitraire est inévitable. L'existence de points de rattachement tire le calculateur de son embarras; il pourra déterminer 24 erreurs  $M_x$ ,  $M_y$  au lieu de 21.

De tels points permettent en outre de déceler, en cours de compensation déjà, des erreurs éventuelles d'échelle qu'il n'est souvent pas possible de mettre en évidence même si le degré d'hyperdétermination du réseau est élevé.

*Azimuths de rattachement.* De nombreux praticiens préconisent la mesure de tels azimuths en nombre suffisant. Deux éventualités sont ici à envisager:

- 1° Les azimuths mesurés sont considérés comme exempts d'erreurs; en d'autres termes le poids à leur attribuer est infiniment grand. Chaque azimuth donne lieu à une relation entre des coordonnées.
- 2° Les azimuths participent à la compensation; ils constituent des éléments surabondants à ajouter aux autres. Il n'est pas toujours facile de leur attribuer un poids qui soit bien en corrélation avec les poids des mesures linéaires.

Dans chaque cas il faut rechercher laquelle de ces deux éventualités est à prendre en considération; il y a là une question assez délicate qui a fait l'objet de controverses.

Une complication se présente en outre dans les réseaux à grandes mailles; comme on ne voit en général pas d'un sommet à l'autre ([1], p. 109–115), il faut avoir recours à un côté et à un azimut auxiliaires. Il en résulte un surcroît de calcul, et le praticien doit veiller à ce que la précision ne soit pas diminuée lors du rattachement du côté auxiliaire au réseau.

*Particularités des calculs de réseaux à mesures linéaires*

En général on n'a pas recours à la méthode de la variation des coordonnées mais on établit des équations de condition. Le calcul des discordances est parfois laborieux. Comme le problème porte ici sur des schémas il y a intérêt à introduire une solution provisoire; le raisonnement en est facilité.

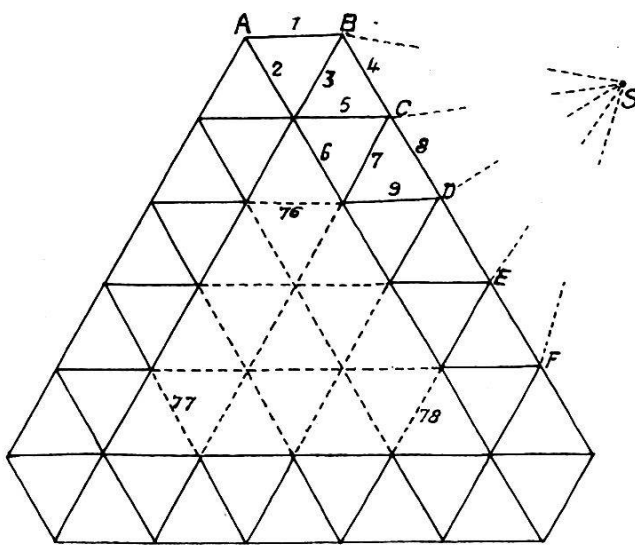


Figure 1

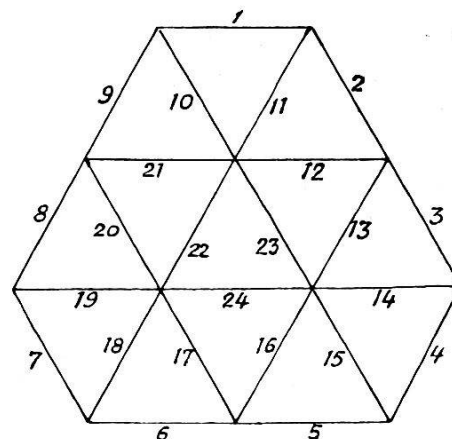


Figure 2

Désignons, figures 1 et 2, les éléments mesurés par

$$L_1 \cong L_2 \cong L_3 \cong \dots \cong L_n$$

( $n = 60$  ou  $78$ , figure 1 et  $n = 24$ , figure 2)

La valeur  $n = 60$  se rapporte à la chaîne (traits pleins). Il n'est pas possible, comme il y a hyperdétermination, d'établir avec ces éléments un schéma géométrique rigoureux. De faibles écarts de fermeture, chevauchements ou bâillements, sont inévitables. Par contre une valeur provisoire

$$L_0 = L_1 + f_1 = L_2 + f_2 = \dots = L_n + f_n \text{ (par exemple: } [f] = 0)$$

fournit une figure géométrique à triangles rigoureusement équilatéraux. En déformant très légèrement cette figure, on obtient le schéma *compensé*, de côtés

$$L_1 + v_1, L_2 + v_2 \dots L_n + v_n$$

Les côtés ont subi des accroissements:  $(v_1 - f_1), (v_2 - f_2) \dots (v_n - f_n)$

Une fois pour toutes, si le réseau est à grandes mailles, il faut substituer aux  $v_1, v_2 \dots v_n$  les binômes  $(v_1 + t), (v_2 + t) \dots (v_n + t)$ , cet élément  $t$  exprimant une erreur ou plutôt une correction indépendante de la longueur mesurée (de nature instrumentale) ([2], p. 43). Dans les réseaux des figures 1 et 2 cette inconnue  $t$  s'élimine, mais seulement dans les compensations; elle est en fait camouflée. Le calcul des déformations est aisé; considérons le sommet  $B$  où aboutissent les côtés  $L_1, L_3, L_4$  et désignons par  $D_{1-3}$  et  $D_{3-4}$  les déformations angulaires respectives, exprimées en mesure circulaire ([1], p. 8):

$$(1) \quad \begin{cases} \sqrt{3} \cdot L_0 \cdot D_{1-3} = 2(v_2 - f_2) - (v_1 - f_1) - (v_3 - f_3) \\ \sqrt{3} \cdot L_0 \cdot D_{3-4} = 2(v_5 - f_5) - (v_3 - f_3) - (v_4 - f_4) \end{cases}$$

Il était donc inutile d'introduire l'élément  $t$ .

Des relations analogues donnent les déformations angulaires en  $C, D, E \dots$  en fonction des  $v$ , car les  $f$  sont connus. On en déduit les déformations  $dz$  qui en résultent pour les azimuts  $z$  des côtés du polygone fermé extérieur ( $ABCDE \dots A$ ).

Une première condition s'énonce comme suit: *la somme des déformations angulaires de ce polygone fermé est nulle* quand on passe de la figure provisoire à la chaîne compensée. L'équation y relative est facile à établir et contient tous les  $v$ .

Pour les deux autres conditions on a:

$$(2) \quad \begin{cases} [(L + f) \sin z] = [(L + v) \sin (z + dz)] = 0 \\ [(L + f) \cos z] = [(L + v) \cos (z + dz)] = 0 \end{cases}$$

En négligeant le terme en  $v \cdot dz$  et en posant  $L_0$  pour  $L_1 L_2 L_3 \dots L_n$  on obtient:

$$(3) \quad [(v - f) \sin z] + L_0 [\cos z \cdot dz] = 0$$

En fait  $L_0$  est éliminé, car dans les  $dz$  tous les termes contiennent  $L_0$  au dénominateur (voir équation (1)); et une relation analogue pour la seconde équation (2).

Le calcul, nullement difficile, est assez laborieux, car les  $dz$  contiennent en général de nombreuses valeurs  $v$ . Il n'y a pas ici à faire la discrimination entre des valeurs linéaires et angulaires comme en polygonation courante. Le degré d'hyperdétermination est faible.

Lorsque la chaîne fermée est constituée par des mailles quadrangulaires avec deux diagonales  $L_5, L_6$  par maille il y a davantage de conditions et l'élément  $t$  n'est pas éliminé. S'il s'agit toujours d'un schéma, on pourra appliquer la formule de Ptolémée, en tous cas à la figure provisoire

$$L_5 L_6 \cong L_1 L_3 + L_2 L_4 \text{ et } (L_5 + v_5 + t) (L_6 + v_6 + t) \cong \dots$$

pour le coefficient de  $t$  on a, en négligeant les termes en  $vt$  et  $t^2$

$$(L_5 + L_6) - (L_1 + L_3) - (L_2 + L_4)$$



	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	$A_1$	$B_1$	$C_1$	$1:P_i$
15			— 1	—	—	0.100	0.900
16		+ 1	— 1	—	0.089	0.0445	0.867
17		— 1	+ 1	—	0.089	0.0445	0.867
18		— 1		—	0.089	0.011	0.900
19		— 1		—	0.089	0.011	0.900
20	+ 1	— 1		0.083	0.050	—	0.867
21	— 1	+ 1		0.083	0.050	—	0.867
22	— 1	— 1	+ 1	0.083	0.139	0.011	0.767
23	— 1	+ 1	— 1	0.083	0.050	0.100	0.767
24	+ 1	— 1	— 1	0.083	0.050	0.100	<u>0.767</u>

$$[aa] = [bb] = [cc] = 12$$

$$[1:P] = 21.00 \text{ (21 inconnues)}$$

$$[ab] = [ac] = [bc] = -3$$

$$[bb \cdot 1] = [cc \cdot 1] = 11.25$$

$$[cc \cdot 2] = 10$$

Comme on le présumait le calcul de ce bloc de 12 points révèle que les poids primitifs ne sont amplifiés que faiblement; il est loisible d'augmenter le nombre de mesures. Les longueurs de certains côtés peuvent devenir fort inégales, et le problème des poids à attribuer se pose.

*Réseaux complémentaires.* La chaîne fermée de la figure 1 étant calculée le besoin peut se faire sentir, ultérieurement, de remplir le vide à l'intérieur de la chaîne. Les points nouveaux intercalés, au nombre de trois seulement ici, pourront être compensés par la méthode de la variation des coordonnées. Les côtés 76, 77, 78 ne participent pas à cette compensation; une solution aurait consisté à les incorporer à la chaîne fermée, procurant ainsi à cette dernière trois systèmes centraux susceptibles d'améliorer les conditions de détermination de la chaîne.

Dans la pratique, on se trouvera en présence de deux solutions qui toutes deux présentent des avantages et inconvénients:

- 1° La chaîne fermée est mesurée et calculée puis, ultérieurement et éventuellement, le réseau interne de remplissage (Füllnetz) est intercalé.
- 2° Le réseau complet de la figure 1 (78 côtés) est mesuré et calculé en un seul bloc, comprenant 33 sommets.

Cette seconde solution donne lieu à 15 systèmes centraux dont le calcul est simple. D'autres éléments peuvent jouer un rôle quant au choix à faire.

*Contrôle des poids.* Il est manifeste que ce contrôle est plus malaisé pour les mesures linéaires que pour les observations angulaires. Le moyen le plus simple consiste à utiliser des bases connues avec précision en vue de procéder à des étalonnages; ces bases seront de préférence de longueurs fort différentes ce qui permet de mieux apprécier le rôle de la

distance dans le calcul du poids. De telles bases ne sont pas toujours à la disposition des praticiens. Si l'on émet diverses hypothèses en ce qui concerne les poids, on obtient chaque fois un système de valeurs  $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$  différent. Il faut choisir et, à cet effet, on cherchera à établir une relation entre ces valeurs, relation qui doit être satisfaite. Une suggestion a été formulée ([6], p. 8) tendant à mesurer des angles avec une précision suffisante pour qu'ils puissent être considérés comme exempts d'erreurs. Une relation aussi simple que possible devrait exister entre les éléments linéaires et angulaires. Une solution parmi plusieurs consisterait à stationner en un point  $S$  quelconque (figure 1) avec un théodolite de haute précision et à mesurer angulairement les points  $A, B, C \dots$ . Ces visées  $SA, SB, \dots SF$  donnent lieu à une correspondance projective avec la ponctuelle  $A, B, \dots F$

$$ABCD \dots \bar{\wedge} S(ABC \dots F)$$

Or, on sait que cette correspondance projective se présente algébriquement sous une forme fort simple; c'est le rapport anharmonique  $r$  ou double rapport. La valeur obtenue en fonction des mesures angulaires sera considérée comme exempte d'erreurs. Le choix des poids en sera facilité en calculant les discordances sur  $r$  obtenu de deux façons. D'autres solutions peuvent aussi être envisagées.

Ce choix joue un rôle pour le calcul de l'erreur moyenne quadratique  $m$  relative à l'unité de poids ([4], p. 88).

$$m^2 \cong [pvv] : (n - u)$$

A titre d'exemple considérons une maille carrée à deux diagonales prise isolément:

$$L_5 L_6 \cong L_1 L_3 + L_2 L_4 \quad (n - u = 1)$$

$$L_5 + f_5 = L_6 + f_6 = L_0 \cdot \sqrt{2}$$

$$L_1 + f_1 = L_2 + f_2 = L_3 + f_3 = L_4 + f_4 = L_0$$

et pour les poids:  $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = 1$

Emettons trois hypothèses:

<p>(<math>p</math> inverse des <math>L</math>)</p> <p>(<math>p</math> inverse du carré des <math>L</math>)</p>	$p_5 = p_6 = 1 \quad \text{(I)}$ $p_5 = p_6 = 1 : \sqrt{2} \quad \text{(II)}$ $p_5 = p_6 = 1/2 \quad \text{(III)}$
--	--

La détermination de  $m$  est un peu précaire quand  $(n - u)$  est faible; si  $w$  est la discordance on trouve:

$$m = \pm 0.35 w \text{ (I)} \quad m = \pm 0.32 w \text{ (II)} \quad \text{et} \quad m = \pm 0.29 w \text{ (III)}$$

Il n'y a pas de gros écarts entre ces valeurs de  $m$ .

En conclusion, on voit que le calcul de réseaux à mesures linéaires pose des problèmes assez complexes surtout pour ceux à grandes mailles (Hiran).



## *Bibliographie*

- [1] *Arnold K.*, Fehlertheorie der streckenmessenden Triangulation. Berlin 1952.
- [2] *Baeschlin F.*, Sphärische Berechnung von Streckennetzen. Comm. géodésique 1951.
- [3] *Eika Tor*, Untersuchungen über Triangulationsnetze. Potsdam 1924.
- [4] *Großmann W.*, Ausgleichsrechnung. Springer, Berlin 1953.
- [5] *Wolf H.*, Ausgleichung von Streckennetzen. Zeitschrift für Vermessungswesen 1958.
- [6] *Ansermet A.*, Compensation de mesures linéaires. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie 1955.

## **Genauigkeit der bedingten Ausgleichung mit Unbekannten, zwischen denen Bedingungsgleichungen bestehen**

*Dipl.-Ing. Christo Tschapanow, Haskovo (Bulgarien)*

In der vorliegenden Arbeit werden Formeln für die Genauigkeit der Ausgleichung nach der bedingten Methode mit Unbekannten, wobei zwischen den Unbekannten noch Bedingungsgleichungen bestehen, hergeleitet. Die Ausgleichung wurde gleichzeitig von Prof. Tarczy-Hornoch [1] und von Prof. H. Wolf [2] behandelt.

Der mittlere Quadratfehler ( $m$ ) stellt bekanntlich das Genauigkeitskriterium dar und wird angewandt:

1. als mittlerer Fehler der Gewichtseinheit, das heißt einer Beobachtung mit dem Gewicht = 1;
2. als mittlerer Fehler einer Funktion der ausgeglichenen Werte unbekannter und beobachteter Größen;
3. als mittlerer Fehler des ausgeglichenen Wertes einer beobachteten Größe;
4. als mittlerer Fehler des ausgeglichenen Wertes einer notwendigen Unbekannten.

### *Mittlerer Fehler der Gewichtseinheit*

Die allgemeine Formel für den mittleren Fehler der Gewichtseinheit lautet bekanntlich:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-u}} = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{r}} \quad (1)$$

Hier bedeuten  $p$  die Gewichte,  $v$  die wahrscheinlichsten Verbesserungen und  $n$  die Anzahl der beobachteten Größen, ferner  $u$  die Anzahl der notwendigen Unbekannten und  $r$  die Anzahl der überschüssigen Beobachtungen beziehungsweise der Bedingungsgleichungen für die Verbesserungen.