

Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 48 (1956)
Heft: 7-9

Artikel: Nouvelles méthodes pour la détermination géodésique des déformations de barrages et autres ouvrages d'art
Autor: Bachmann, W.K.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-921515>

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: 19.02.2026

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

Nouvelles méthodes pour la détermination géodésique des déformations de barrages et autres ouvrages d'art

W. K. Bachmann, Dr ès sc. tech., professeur à l'Ecole Polytechnique de Lausanne et directeur de son Institut de photogrammétrie et de géodésie

La méthode géodésique de détermination des déformations de barrages fut développée en Suisse par le Service Topographique Fédéral dès 1922. Elle est surtout l'œuvre de feu le Dr Zölili, chef de la section de géodésie.

Durant de nombreuses années, elle fut appliquée et constamment perfectionnée par feu W. Lang, ingénieur au service susmentionné. Ce dernier fit part de ses expériences dans la publication «Deformationsmessungen an Staumauern nach den Methoden der Geodäsie» parue en 1929.

En 1950, M. W. Untersee, ingénieur au Service Topographique Fédéral également, rédigea une publication intitulée «Méthode géodésique pour la détermination des déformations de barrages» dans laquelle il exposa les dernières expériences faites dans ce domaine.

Jusqu'à ce jour, les déformations des barrages ont été déterminées par nivellement et par triangulation et, notamment, par la méthode de l'intersection. Pour les nivellements, on s'est servi du niveau Wild N III, tandis qu'on utilisait tout d'abord pour la triangulation des théodolites Hildebrand qui furent ensuite remplacés par le théodolite Wild T3.

Pour la mesure de directions, le théodolite, pourvu d'un dispositif mécanique de centrage forcé, est placé sur des piliers en béton d'une section d'environ 50×50 cm, seuls à même d'offrir la stabilité nécessaire.

En ce qui concerne les calculs, W. Lang fit de très nombreuses recherches et s'appliqua notamment à la construction d'un appareil pour la compensation mécanique des points; mais cette méthode dut être abandonnée en faveur d'une compensation graphique. La longueur des visées ne dépassait généralement pas 100 mètres, ce qui est important vu la haute précision exigée pour de telles mesures. En effet, les déformations doivent généralement être données avec une précision supérieure au millimètre et seuls les instruments les plus précis, maniés par des observateurs très exercés, permettent d'obtenir ce résultat.

Avec la construction de nouveaux barrages, tels que ceux de la Grande Dixence, de Mauvoisin et de Moiry, dont les dimensions dépassent de loin celles des ouvrages observés jusqu'ici, on ne peut plus réaliser une si grande précision avec les méthodes géodésiques connues, car les côtés de triangulation atteignent facilement 500 mètres et plus. On fut dès lors obligé de chercher de nouvelles méthodes. Dès 1954, M. le professeur A. Stucky, ses collaborateurs et l'auteur du présent article s'attaquèrent à l'étude des nouveaux problèmes qui se posaient dans le domaine de la mesure des déformations et conclurent à la nécessité de compléter les mesures géodésiques extérieures aux barrages par des mesures intérieures à effectuer dans les galeries et les puits. Cette méthode permet d'entreprendre les premières séries de mesures pendant la construction du barrage déjà.

On sait que le pendule est d'un usage courant pour la détermination des déplacements relatifs du barrage. Ces observations donnent les déplacements absolus si elles sont combinées avec des mesures géodésiques extérieures. Mais un pendule ne peut être utilisé que dans un puits vertical; il devient inutilisable dans un puits incliné. Pour combler cette lacune, nous avons cherché une méthode optique permettant de mesurer les déformations également dans des puits d'une inclinaison quelconque. Nous avons fait construire, dès 1954, par la maison Kern & Cie S. A. à Aarau, un théodolite spécial du type DKM3 qui peut être placé sur un pilier ou suspendu au plafond. De plus, il est muni d'un oculaire de lecture et d'un oculaire de visée fixes ayant leurs axes optiques parallèles à l'axe des tourillons du théodolite. Moyennant ce dispositif, on peut effectuer avec ce théodolite des visées de toutes inclinaisons, vers le haut lorsqu'il est placé sur le pilier, et vers le bas s'il est fixé au plafond. Des repères lumineux étant placés à différentes altitudes dans les puits, nous avons la possibilité de mesurer avec cet instrument les déplacements relatifs, soit du bas vers le haut, soit du haut vers le bas. Ajoutons que le théodolite Kern DKM3 se prête spécialement bien à ces mesures, vu que l'axe principal y est remplacé par un roulement à billes. De ce fait, il suffit d'un jeu de ressorts, compensant le poids du théodolite, pour que celui-ci puisse fonctionner dans des conditions normales même lorsqu'il est suspendu au plafond moyennant un dispositif spécialement conçu.

Mais les mesures géodésiques à l'extérieur et les visées à l'intérieur du barrage ne permettent pas de résoudre tous les problèmes; la mesure de l'écartement d'une vallée sous l'effet de la pression de l'eau par exemple présente de sérieuses difficultés. Dans certains cas, on peut arriver à déterminer cette grandeur par la méthode trigonométrique, moyennant la mesure très précise d'angles parallactiques, mais cette méthode a l'inconvénient de ne donner la déformation qu'à la surface de l'eau, tandis qu'il serait intéressant de la connaître à différents niveaux sous la surface du lac. Nous avons pour cela complété le programme de mesures par des polygonales de précision dans les galeries horizontales du barrage. Ces polygonales sont raccordées avec l'extérieur par des galeries débouchant à l'air libre. On peut ainsi englober les points extrêmes dans la triangulation générale du barrage. Les angles de ces polygonales sont mesurés avec le théodolite Kern DKM3, suspendu au plafond pour éviter la construction de piliers dans les galeries, tandis que les distances sont déterminées avec un équipement à fils en invar spécialement construit. Les différences de niveau peuvent être déterminées par nivellement trigonométrique ou par un nivellement de haute précision. En outre, nous utilisons ces fils en invar pour la mesure de distances entre repères dans des puits verticaux, ce qui fournit d'utiles renseignements sur les déformations verticales du barrage.

COUPE

ÉLEVATION DÉVELOPPÉE

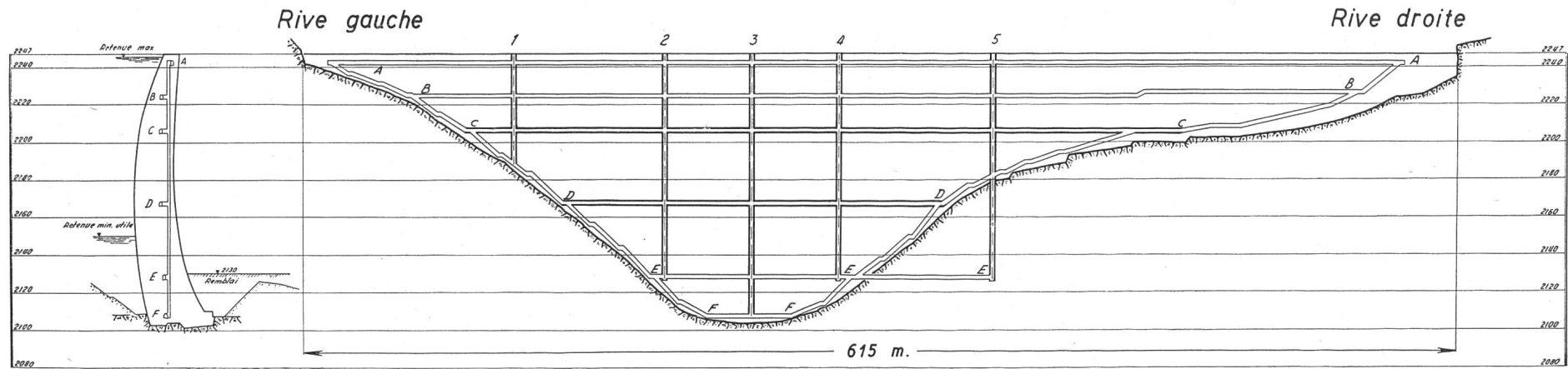


Fig. 1 Barrage de Moiry.
Légende: Galeries C et D: Polygonales de précision.
Puits 1, 2, 3, 4, 5: Visées quasi-verticales. (Etude: Bureau d'Ingénieurs A. Stucky)

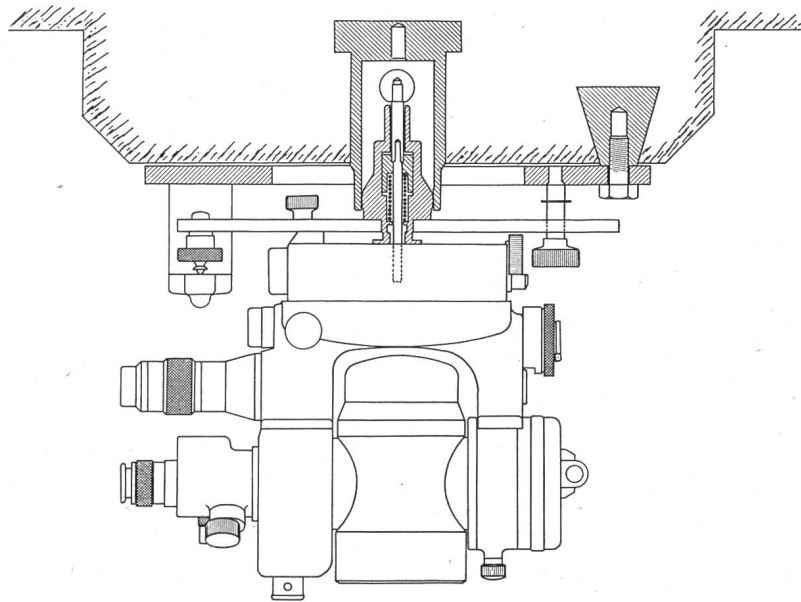


Fig. 3 Théodolite Kern DKM 3 (construction spéciale), position suspendue.
(Institut de photogrammétrie EPUL)

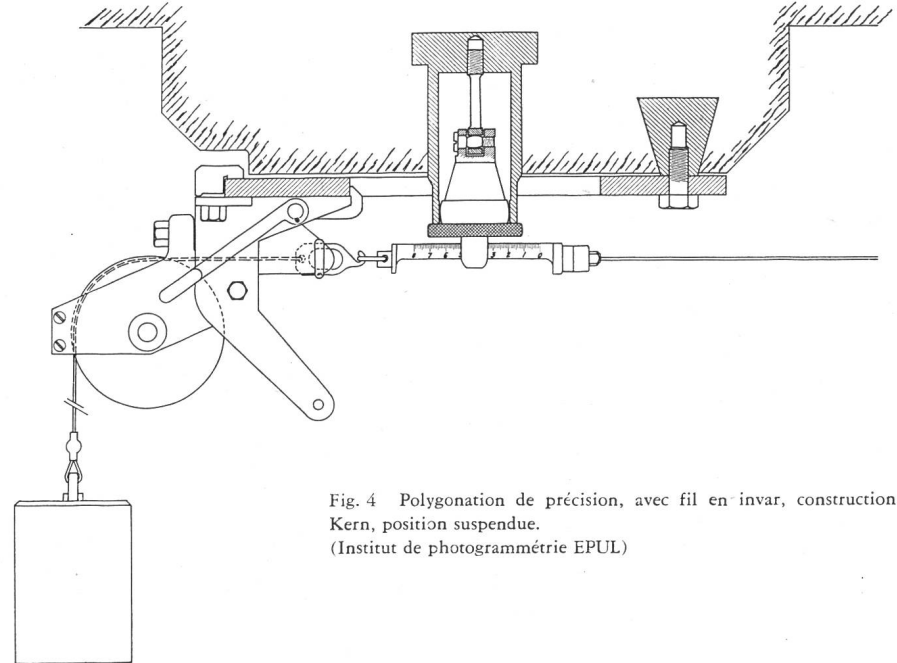
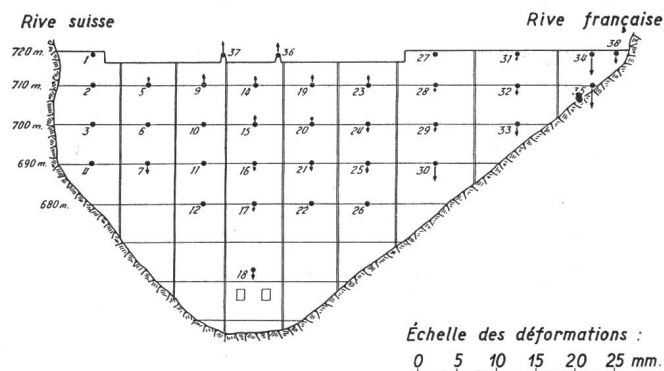


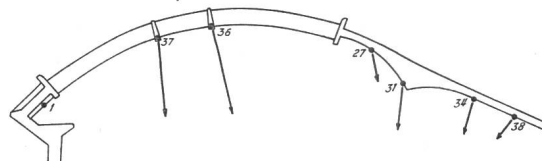
Fig. 4 Polygonation de précision, avec fil en invar, construction Kern, position suspendue.
(Institut de photogrammétrie EPUL)

EMPLACEMENT DES REPÈRES GÉODÉSIQUES

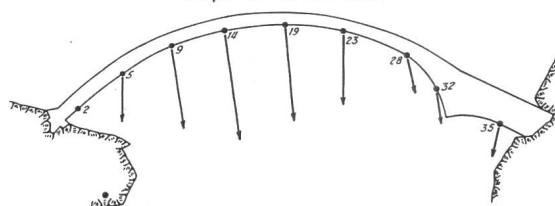
vu de l'aval



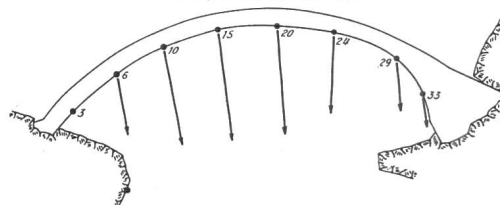
Coupe au niveau 720



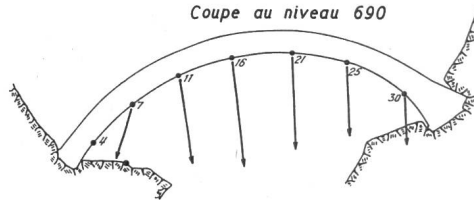
Coupe au niveau 710



Coupe au niveau 700



Coupe au niveau 690



Coupe au niveau 680

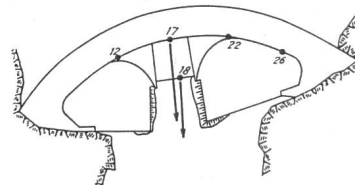
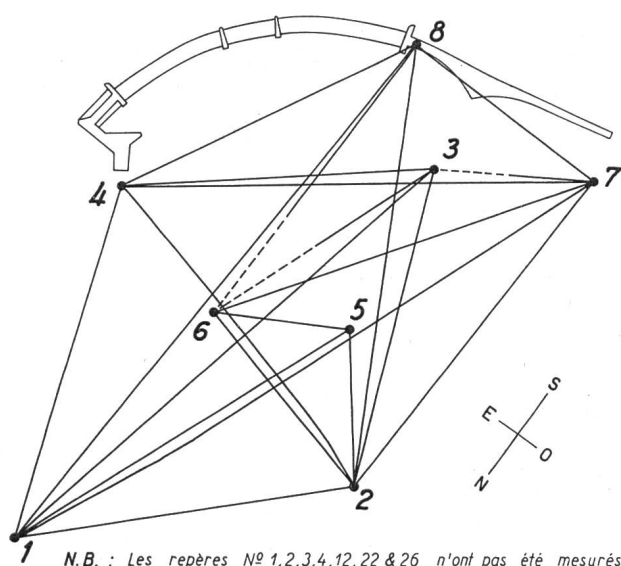
RÉSEAU DES STATIONS

Fig. 2 Barrage du Châtelot. Mesures géodésiques des déformations, état au 21 avril 1956.
(Projet: Electro-Watt, Zurich, et Prof. A. Stucky, ing.-cons., Lausanne)

Dans certains cas, nous avons prévu une polygonale de précision sur le couronnement du barrage pour simplifier les mesures de déformations lorsque la construction de l'ouvrage est achevée. En effet, une fois le barrage terminé, nous espérons pouvoir nous dispenser de stationner sur tous les piliers extérieurs et nous contenter d'une polygonale de précision sur le couronnement et de quelques relèvements sur le barrage, les séries de directions horizontales étant orientées au moyen d'observations astronomiques. Naturellement, ces dernières observations seraient complétées par des mesures verticales à l'intérieur du barrage.

Lorsqu'il s'agit de mesurer la déformation d'usines souterraines, de nouveaux problèmes fort complexes se posent. Tel fut par exemple le cas pour l'Usine de Croix de la Lienne qui comporte une calotte cylindrique de section circulaire, dont il s'agissait de déterminer les déplacements par rapport au radier. Un examen approfondi de la question montre que seule la méthode géodésique permet d'obtenir une précision supérieure au millimètre. Comme la construction de piliers à l'intérieur de l'usine aurait gêné le travail normal d'exploitation, nous avons dû trouver un système de centrage forcé souterrain, le théodolite Kern DKM3 ou le Wild T3 se trouvant ainsi à peu près à fleur de sol. Vu qu'on ne peut pas effectuer des visées de moins de 14 mètres de longueur avec le théodolite Kern DKM3, nous avons mesuré le réseau fondamental, qui comporte entre autres des côtés de 12 mètres, avec le théodolite Wild T3, tandis que nous utilisons le DKM3 pour les visées zénithales. Sur notre demande, la maison Kern est en train d'étudier la possibilité de pourvoir son théodolite d'une lentille additionnelle qui permettrait de réduire la portée minimum à 10 mètres environ. Si cette tentative réussit, les mesures seront considérablement facilitées, car nous n'aurons plus à compter avec la hauteur des deux instruments pour le nivellement trigonométrique. La détermination de la hauteur des instruments Kern DKM3 et Wild T3 présente en effet d'assez grosses difficultés, car elle doit être effectuée avec une précision du dixième de millimètre en tout cas. Nous faisons actuellement construire par la maison Kern un dispositif spécial pour l'exécution de cette mesure. Si le plafond restait libre pendant l'exploitation de l'usine, nous aurions pu y placer les repères que nous utilisons normalement pour les barrages, mais après la première mesure, un faux-plafond distant du premier d'environ un mètre, sera construit et cachera les repères. Nous avons dès lors envisagé le dispositif suivant: des chevilles de centrage, telles que nous les utilisons pour les théodolites, mais pourvues d'un pas de vis à l'intérieur, sont scellées au plafond, leur axe étant vertical. La maison Haag-Streit AG à Berne a été chargée de construire des marques spéciales à visser dans ces chevilles et au moyen desquelles nous avons fait le premier mesurage (faux-plafond non encore construit); la précision réalisée est de l'ordre de grandeur du dixième de millimètre. Sur notre demande, la maison Kern construit maintenant une série de pendules de 1,50 m de longueur que nous substituerons aux dites marques, en les faisant traverser le faux-plafond dans de petites ouvertures. Il suffira dès lors de déterminer exactement à notre Institut de Photogrammétrie la longueur de ces pendules pour pouvoir réduire les observations futures à l'observation initiale.

En ce qui concerne les méthodes de calculs, nous les avons considérablement modifiées au cours de ces dernières années, non seulement dans le domaine de la géodésie, mais aussi dans celui de la photogrammétrie. On savait déjà, de par les publications de W. Lang, qu'on ne pouvait à priori considérer les piliers comme fixes dans une mesure de déformation, car il arrive fréquemment que certains d'entre eux se déplacent autant que les points du barrage, ce dont il faut évidemment tenir compte dans les calculs. Quoi qu'on fasse, toute mesure de déformations doit être rattachée à certains points supposés fixes; ceux-ci doivent être choisis suffisamment loin de la zone perturbée par l'ouvrage à mesurer. Ainsi, dans le cas du barrage du Châtelot, nous avons construit deux piliers de référence à 120 m en aval du barrage.

Pour la compensation du réseau de base, nous appliquons généralement la méthode des observations conditionnelles, tout en laissant les écarts de fermeture indéterminés, ce qui a l'avantage de ne nécessiter qu'une seule résolution du système d'équations normales pour toutes les mesures passées et futures de l'ouvrage. Il en est de même lorsqu'on applique convenablement la méthode des observations médiates pour la compensation de points isolés du réseau.

Quant à la compensation planimétrique des repères du barrage, nous songions tout d'abord à la compensation graphique bien connue, mais après quelques essais préliminaires, nous y avons renoncé, cette méthode étant trop longue. Pendant quelques années nous avons calculé les intersections avec la machine Brunsviga double; tout récemment, nous avons amélioré ces calculs, en procédant à une compensation d'après la méthode des observations médiates. En effet, si l'on dispose convenablement les calculs, une seule et même compensation s'applique à tous les états de l'ouvrage et il suffit dès lors d'introduire dans les équations normales toutes résolues les termes absolus déduits des mesures.

Pour le calcul des coordonnées provisoires par intersection, des coefficients de directions pour la compensation, des distances pour le nivellement trigonométrique et du tableau résumé des directions, nous utilisons une machine à facturer «Supermetal» que nous avons fait adapter spécialement aux calculs géodésiques. Cette machine, en grande partie automatique, imprime directement les résultats et est d'un grand rendement. Pour l'extraction de la racine carrée en vue de l'obtention des distances à partir de leur carré, nous disposons d'une machine Fridén donnant la racine automatiquement. Notons en passant qu'une machine à additionner imprimante Underwood à deux compteurs nous a également rendu de précieux services pour le calcul des gisements et celui des tableaux résumés de directions.

Il est intéressant de constater que la mesure de déformation des grands barrages présente des problèmes tout à fait nouveaux au géodésien. La grande précision exigée nous oblige en effet à tenir compte d'un grand nombre de facteurs qu'on néglige habituellement. Nous sommes persuadés que les nouvelles méthodes que nous avons introduites ces dernières années permettront d'améliorer sensiblement la précision des mesures de déformations.