Zeitschrift: Cahiers d'archéologie romande

Herausgeber: Bibliothèque Historique Vaudoise

Band: 33 (1987)

Artikel: Gedanken über die zum Bau des Canal d'Entreroches im 17. Jahrhundert erforderlichen Vermessungsinstrumente = Le canal d'Entreroches; quelques réflexions concernant les instruments de mesure au XVIIe siècle

Autor: Kapelle, Herbert

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-835425

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: 20.02.2026

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

Gedanken über die zum Bau des Canal d'Entreroches im 17. Jahrhundert erforderlichen Vermessungsinstrumente

Le canal d'Entreroches; quelques réflexions concernant les instruments de mesure au XVIIe siècle

Herbert Kapelle

Wenn ein Ingenieur in unserer Zeit einen Kanal für die Schiffahrt planen soll, so kann er auf die topographischen Karten im Maßstab 1:25.000, vielleicht besser bekannt als sogenannte Meßtischblätter, zurückgreifen. Diese Karte gibt die Lage eines Objektes mit einer Genauigkeit von etwa 5 m und seine Höhenlage durch Höhenlinien nach MERKEL [1] auf $\pm$ (0,8 + 12 tan α) m bei der Geländeneigung α an. In einem so durch Höhenlinien dargestellten Gelände ist die Trasse des Kanals als die Linie mit dem geringsten zu überwindenden Höhenunterschied und mit dem geringsten Gefälle schnell gefunden. Was heute Schwierigkeiten bereitet, sind die erforderlichen Änderungen der Besitzverhältnisse und Eingriffe in die Ökologie. Früher lagen aber kaum Karten vor und schon gar nicht mit Höhenlinien, die erst zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit dem Aufkommen der Eisenbahn erforderlich wurden.

Der Planung eines Kanals mußte somit also eine Geländeaufnahme nach Lage und Höhe vorausgehen. Zwar kann man einen Kanal auch direkt im Gelände abstecken, indem man sich lage- und höhenmäßig an den Verlauf der Talmulden und vorhandenen Fluß- oder Bachläufe hält. Zur Ermittlung des zu überwindenden Höhenunterschieds und damit zur Festlegung der Stauhöhe, Anzahl und Lage der Schleusen, ist jedoch auch hier eine Höhenmessung und für die Abschätzung der Kosten auch eine Messung der zu erwartenden Kanallänge erforderlich.

Der Canal d'Entreroches sollte ja den Neuenburger See (434 m ü. NN) den Tälern der Zihl und Venoge folgend mit dem 40 km entfernten Genfer See (375 m ü. NN) verbinden, wobei noch die durch den Bergrücken Mormont gebildete 452 m hohe Wasserscheide zwischen beiden Flüssen bei La Sarraz zu überwinden war. [2] Es handelt sich hier also um ein schmales, jedoch auf 40 km langgestrecktes Vermessungsgebiet mit einer Steigung von 18 m auf 19 km (5 Schleusen) vom Neuenburger See bis Entreroches und mit einem Gefälle von 18 m auf 8 km bis Cossonay (9 Schleusen) und von 59 m auf 13 km (47 Schleusen) bis zum Genfer See.

Lorsqu'un ingénieur fait le projet d'un canal pour la navigation, il dispose de nos jours de cartes topographiques à l'échelle 1:25.000, celles-ci étant probablement mieux connues sous le nom de »feuilles topographiques«. On y trouve d'une part la position d'un objet sur le terrain avec une précision de quelques 5 m et d'autre part son altitude fixée par des isohypses avec une précision de $\pm$ (0,8 + 12 tan α) m, α représentant l'angle de la pente (cf. MERKEL [1]).

Ainsi, le tracé idéal du futur canal se repère sans difficultés; il ne s'agit que de trouver l'itinéraire dont la pente et les différences d'altitude sont minimales. En revanche, deux points posent souvent des problèmes aujourd'hui, tout d'abord l'état cadastral de la propriété, qu'il faut modifier, ainsi que l'intervention dans l'équilibre écologique. Autrefois, on ne disposait guère de cartes et encore moins de cartes avec courbes de niveau. En effet, celles-ci ne devinrent indispensables qu'au XIXe siècle au moment où commença la construction ferroviaire.

Un levé topographique préalable, donnant la configuration des lieux et les cotes d'altitude, était donc absolument nécessaire pour tout projet de canal. En principe, il est également possible de jalonner le tracé du canal directement dans le terrain en suivant les fonds de vallées, les lits de rivières ou de ruisseaux; ceci permet de trouver sans trop de difficultés le trajet le plus régulier. Toujours est-il qu'un nivellement et une estimation de la longueur du futur canal sont indispensables; c'est par ces mesures uniquement que l'on arrive à définir la différence d'altitude à franchir, la hauteur du plan d'eau, le nombre et la répartition des écluses, ainsi qu'à établir un devis pour l'entier du projet en cours.

On sait que le canal d'Entreroches était supposé relier le lac de Neuchâtel (432 m d'altitude) au lac Léman (372 m d'altitude), donc une distance de 40 km, en suivant les vallées de l'Orbe et de la Venoge. De plus, il fallait franchir la ligne de partage des eaux entre les deux rivières, à 452 m d'altitude, dans le relief du Mormont, près de La Sarraz [2].

Welche Vermessungsgeräte erlaubten nun 1635, als der 1. Entwurf vorlag, die Erstellung von Lageplänen und von Längs- und Querprofilen für die Planung?
Um diese Zeit war das Fernrohr als vergrößerndes Beobachtungsinstrument bereits erfunden. Galileo GALILEI hatte 1609 mit einem selbstgebauten holländischen Fernrohr die Jupitermonde entdeckt [3]. Aber es fehlte noch das Fadenkreuz, das erst um 1640 durch GASCOIGNE und andere als Zielmarke in der Brennebene astronomischer Fernrohre benutzt wird und das Fernrohre so zu einem weittragenden Zielgerät macht [4]. Erst 1669 benutzte PICARD ein Fernrohr mit Fadenkreuz zur Höhenmessung.
So blieben nur Diopter-Instrumente für die großräumige Lage- und Höhenaufnahme des Geländes [5]. Mit einem Diopter ist aber bestenfalls das Auflösungsvermögen des Auges als Zielgenauigkeit zu erreichen.
Das heißt, bei einer Zielweite von 30 m ergeben sich Zielfehler von 1 bis 2 cm und bei einer Zielweite von 3000 m ergeben sich Zielfehler von 1 bis 2 m. Diese Genauigkeiten waren den Erfordernissen der damaligen Zeit aber durchaus angepaßt.
Die Meßgenauigkeit ist jedoch nicht nur vom Zielfehler des Beobachters abhängig, sondern zusätzlich auch von der Konstruktion der Meßgeräte, d.h. der Ausbildung der Diopter und Horizontiervorrichtungen.
Für die großräumige Lagemessung kam damals wohl der Meßtisch in Frage, der 1590 von PRÄTORIUS beschrieben und 1618 bei SCHWENTER [6] als aktuelles Vermessungsinstrument dargestellt wird (Abb. 1). Der Meßtisch erlaubt eine Geländeaufnahme durch ein graphisches Einschneiden.
ZUBLER bringt in seinem Buch aus dem Jahre 1625 eine sehr informative Darstellung (Abb. 2) [7]. Er zeigt, wie ausgehend von einer im Gelände und Meßtisch vorhandenen nach Länge und Himmelsrichtung bekannten Strecke (Basis), z.B. dem Abstand zweier Türme oder Berge, alle wichtigen Geländeobjekte nacheinander mit einem Diopterlineal angezielt und auf dem Meßtisch angerissen werden. Führt man diese Operation auf den beiden Endpunkten der Basis durch, so ergeben sich die aufgemessenen Geländepunkte als Schnittpunkte der angerissenen Visuren.
Konzentriert auf wenige wichtige Geländepunkte kann auf diese Weise schnell ein Übersichtsplan erstellt werden, in dem auch für die Planung wichtige Punkte und Linien, wie eine Talsohle oder ein Flußverlauf aufgenommen werden. Die Länge der Basis, die den Maßstab liefert, ließ sich damals je nach Größenordnung mit Meßketten oder Meßseilen messen.

Le terrain à lever était donc étroit, mais d'une longueur considérable de 40 km, et il fallait niveler les différences d'altitude suivantes:
- une montée de 18 m sur une distance de 19 km entre le lac de Neuchâtel et Entreroches (5 écluses).
- une pente de 19 m sur 8 km entre Entreroches et Cossonay (9 écluses).
- une pente de 59 m sur 13 km entre Cossonay et le lac Léman (47 écluses).

La question se pose dès lors de savoir quels instruments étaient disponibles en 1635, lors du premier projet de canal, pour établir les plans de situation ainsi que les coupes transversales et longitudinales. A l'époque, on utilisait déjà la longue-vue comme instrument d'observation à grande distance. Un téléscope hollandais de fabrication artisanale permit à Galileo GALILEI en 1609 la découverte des satellites de Jupiter [3]. En revanche, ce ne fut qu'en 1640 que GASCOIGNE et d'autres employèrent le réticule comme point de repère (point de mire) du plan focal dans des lunettes astronomiques [4]; dès lors, la lunette est devenue un dispositif de visée à longue portée. En 1669, PICARD employa pour la première fois une lunette à réticule afin d'effectuer un nivellement.
Il s'en suit qu'à l'époque de la construction du canal, on disposait uniquement d'instruments dioptriques pour le levé de situation et le nivellement à petite échelle [5]. Notons cependant que la précision que l'on peut atteindre avec un dioptre correspond dans le meilleur des cas au pouvoir séparateur de l'oeil humain. Concrètement cela veut dire que l'erreur de visée est de 1 à 2 cm sur une distance de visée de 30 m et de 1 à 2 m pour une distance de 3.000 m. Cette précision ne répondait pas moins aux exigences de l'époque.
La précision de mesure n'est pas seulement influencée par l'erreur de visée de l'observateur, mais également par la construction des instruments, à savoir du dioptre et du niveau.
Pour le relevé de situation à petite échelle on utilisait probablement déjà à l'époque la planchette qui fut décrite en 1590 par PRETORIUS et présentée en 1618 par SCHWENTER [6] comme instrument de mesure courant (fig. 1).
La planchette permet un levé de terrain par recoupement graphique. Dans son livre paru en 1625, ZUBLER [7] en donne une description très précise (fig. 2). Il y démontre de quelle manière tout élément marquant du terrain peut être visé individuellement au moyen d'une alidade, pour être tracé ensuite sur la planchette; il suffit de disposer préalablement d'une ligne de base fixée dans le terrain et reportée sur la planchette, dont la longueur est connue et dont l'orientation est également

Das Verfahren der Meßtischaufnahme, mit dem die Grundlagen der heutigen Meßtischblätter gelegt wurden, ist die graphische Variante der großräumigen Dreiecksmessung oder Triangulation, die 1540 zuerst von GEMMA FRISIUS beschrieben und bis in die heutige Zeit benutzt wird [8].

Für die Erstellung der Längs- und Querprofile, das heißt für die Darstellung der Höhenverhältnisse in Abhängigkeit von der Entfernung, sind die örtlichen Höhen erforderlich.

Sie lassen sich theoretisch durch noch zu erläuternde geometrische, trigonometrische und barometrische Höhenmessungen ermitteln. Praktisch kommt hier aber nur das erste Verfahren in Frage, da es als visierendes Verfahren mit einer Instrumentenaufstellung eine große Distanz überbrückt und so eine große Meßgeschwindigkeit erlaubt. Dies war bei der am Canal d'Entreroches gegebenen Profillänge von 40 km angebracht. Geometrische Verfahren, bei denen die Höhe von einem eingeschlagenen Pflock zum anderen durch horizontierte Latten oder Schnüre übertragen wurde, sind zu aufwendig und scheiden wohl deshalb aus.

Wie aber wurde die Visur horizoniert? Um 1640 war die Röhrenlibelle als Horizontiervorrichtung noch nicht im Gebrauch. Sie wurde erst 1661 von THEVENOT erfunden[9]. Diese erste Ausführung einer Röhrenlibelle bestand noch aus einer geraden Glasröhre, die mit einer Flüssigkeit gefüllt war und wegen der fehlenden Krümmung überempfindlich reagierte, was ihre praktische Anwendung behinderte. Es verbleiben das Pendel und die Oberfläche einer Flüssigkeit in einem langgestreckten Trog wie beim Vitruv'schen Chorobates (Abb. 3 und 4, XII) oder in einer zweimal abgeknickten Röhre, wie bei der Kanalwaage (Abb. 4, VI und VII). Alle drei Geräte waren schon seit dem Altertum bekannt und wurden in Büchern über die Bautechnik dieser Zeit beschrieben.

Betrachten wir zuerst die Pendel-Waage mit einem leicht beweglichen Fadenpendel als Anzeiger der Lotrichtung. Bei einer Pendellänge von 30 cm und einer Einspielgenauigkeit von 0,2 mm erlaubt sie eine Horizontierung von ± 3 cm auf 30 m.

Rechnet man nach dem Fortpflanzungsgesetz unregelmäßiger Fehler die schon angeführte Zielgenauigkeit von ± 2 cm auf 30 m hinzu, so ergeben sich insgesamt ± 3 cm, was bei einer Zielweite von 30 m und der halben Länge des Längsprofils von 20 km eine Unsicherheit der Höhenlage von

$$\pm 3\ \text{cm} \cdot \sqrt{20\,000\ \text{m}/(2 \cdot 30\ \text{m})} = \pm 55\ \text{cm}$$

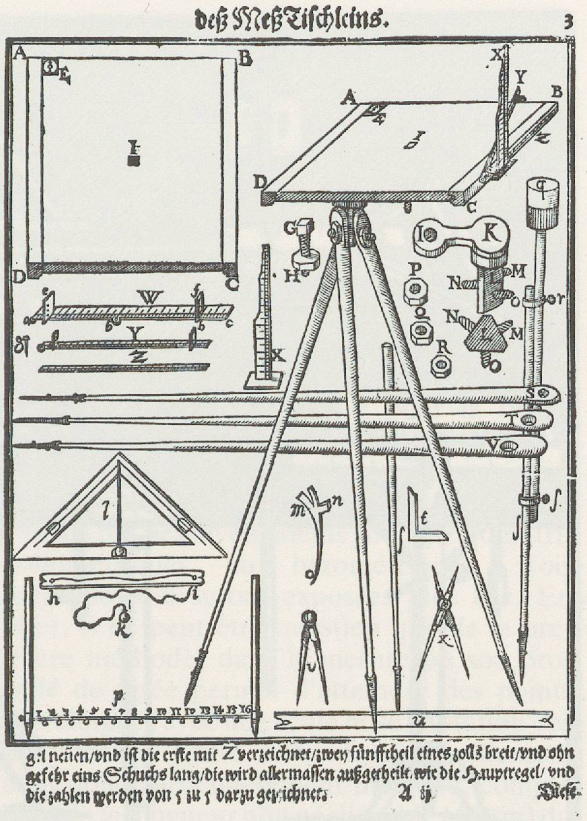


Abb. 1 Der Meßtisch von PRÄTORIUS (n. Schwenter)
Fig. 1 La planchette de PRÄTORIUS (d'après Schwenter)

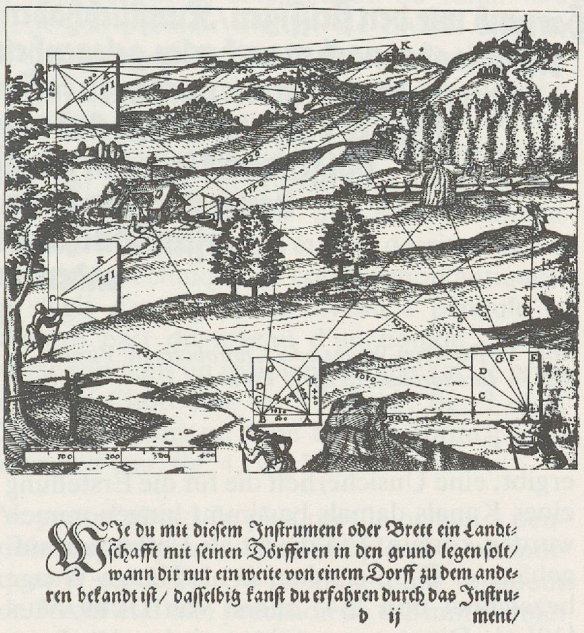
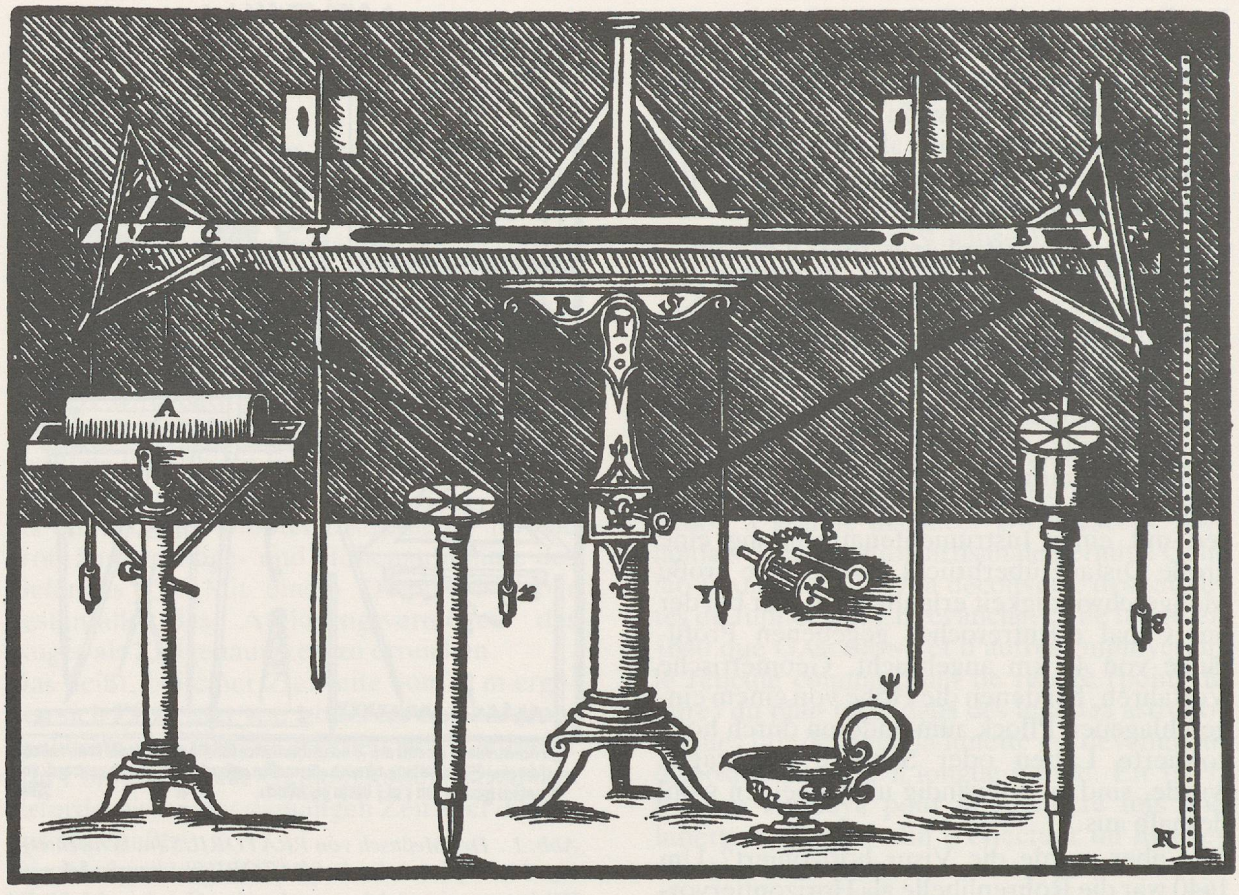


Abb. 2 Das Meßtischverfahren (n. Zubler)
Fig. 2 Le relevé à la planchette (d'après Zubler)



GS mag aber ſolche Waſſer leitung durch mancherley faſſung beſchehen / der Canal/ oder Deuchel/vnd Rören/ deren etliche von Gemeur gefaſſet werden/etlich frey/ vnd offen/als ſo man ein Waſſerfluß in ein Graben/oder in ein Stadt füret / oder etwan obgewelbt / vnnd ſolchs heimlich oder offenbar / aber die Brunnen quellen leitet man gemeingklichen in Deuchlen/ oder Rören von Pley/ Yrdin geſchir/oder Holtz/wie ſich aber hierin weiter zu halten ſey / iſt diſes orts nit vnſers furnemens / weidtleuffiger zu handlen/ darumb wir den fleiſſigen/Kunſtliebhabenden Leſer/ an obgemelte ort verwiſen haben wöllen/wie aber nach mancherley gelegenheit der Landtſchafft / vnd gegnet ſolche Waſſer leitung zu richten/die quellen zu faſſen / die Waſſer bech zu ſchwellen/vnnd das Waſſer durch die Landt ſtuben zu purgieren vnd leuteren/ haſtu in diſer volgenden Figur/ein gnugſamen augenſcheinlichen bericht/ damit wir diſen ſexten vnd letſten vnterſcheidt des erſten Buchs/ Geometriſcher meſſung enden vnd beſchlieſſen wöllen.

Abb. 3 Die Trog-Waage oder Chorobates (n. Vitruv)
Fig. 3 Le chorobate (d'après Vitruve)

ergibt, eine Unsicherheit die für die Erstellung eines Kanals damals bestimmt hingenommen werden konnte. Ein direkt als Lotkörper aufgehängtes Diopter, damals als Hänge-Waage bezeichnet und 1545 zuerst von DUBRAVIUS [10] als Dioptra angeführt, wird wahrscheinlich mit der gleichen Genauigkeit einspielen, aber die zusätzlichen Vorteile eines leicht zu konstruierenden und zu handhabenden Instru-

définie (p. ex. la distance entre deux sommets de montagne ou entre deux tours).
Si on vise alors tout objet du terrain à partir des deux points terminaux de la base, sa position graphique correspond au point d'intersection des lignes de visée tracées sur la planchette. Ainsi, on peut avoir rapidement un plan général qui comporte les dispositions du terrain les plus importantes, ainsi que les éléments qui

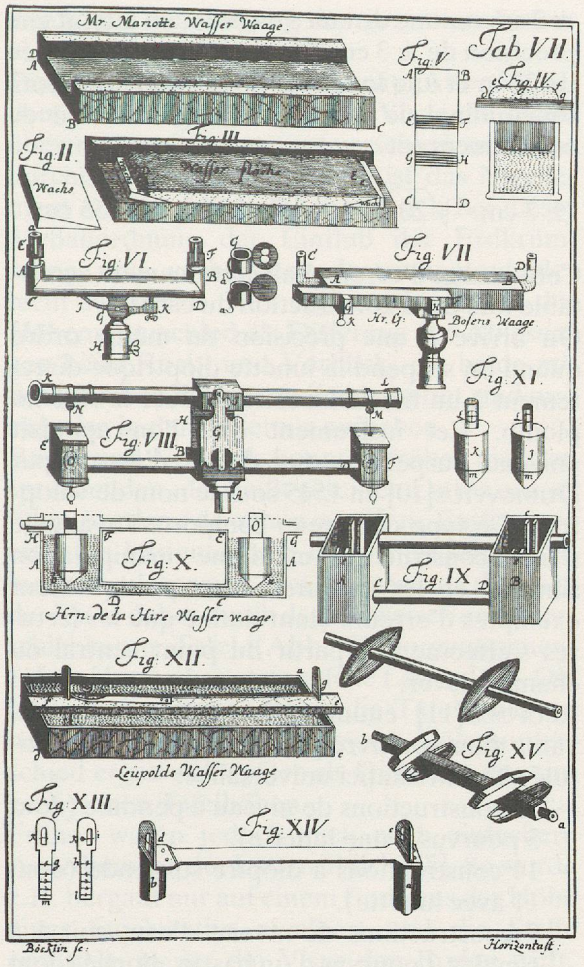


Abb. 4 Die Kanal-Waage (n. Leupold)
Fig. 4 Le niveau à canal

ments besitzen, das bei der Messung aus der Mitte außerdem fehlerfreie Ergebnisse liefert. LEUPOLD [11] gibt in seinem 1726 erschienenen »Schauplatz von Wasser- und Horizontal-Waagen«

- 12 Konstruktionen einer Pendel-Waage (3 mit Fernrohr),
- 14 Konstruktionen einer Hänge-Waage (11 mit Fernrohr),
- 7 Konstruktionen einer Wasser-Waage in den Ausführungen Kanal- (5) oder Trog-Waage (2) (2 mit Fernrohr) und
- 1 Konstruktion mit Röhrenlibelle und Fernrohr an.

Dieser Statistik ist also zu entnehmen, daß die Hänge-Waage zu dieser Zeit wohl besonders beliebt war. Dies wird noch durch ausführliche Darstellungen auf zwei Einzelblättern (Abb. 5) besonders hervorgehoben.

Chorobates und Kanalwaage benötigen zu ihrer Funktion eine mitzuführende und oft zu ersetzende Wassermenge. Zweckmäßig ist ein dreibeiniges Stativ mit Gelenk, um das Einspielen der Wasseroberfläche parallel zur Trogkante zu bewirken. Infolge der großen Länge bis zu 6 m ist eine genaue Zielung

seront décisifs pour le projet (p. ex. le fond d'une vallée, le cours d'un fleuve, etc.).

Pour mesurer la longueur de base qui sert d'échelle, on utilisait à l'époque, selon la distance, soit des chaînes, soit des cordes d'arpenteur.

La méthode du levé à la planchette permet la réalisation graphique de la triangulation à grande distance qui fut proposée pour la première fois en 1540 par GEMMA FRISIUS [8] et qui n'a cessé d'être utilisée jusqu'à nos jours.

Pour l'établissement des coupes longitudinales et transversales, c'est-à-dire pour la représentation du rapport de l'altitude à la distance, la connaissance des altitudes locales est indispensable. En principe, on peut obtenir ces valeurs par des nivellements géométriques, trigonométriques ou barométriques, trois méthodes qui seront exposées plus bas. En effet, il ne peut être question que de la première méthode, dans la mesure où son procédé de visée permet d'atteindre des points très éloignés avec une seule mise en station des instruments. Cette méthode de nivellement était donc particulièrement indiquée, compte tenu de la longueur non négligeable (40 km) du profil en question. Pour la même raison, un procédé géométrique ne pouvait entrer en considération, car il aurait fallu transmettre les valeurs d'altitude d'un piquet à l'autre par des lattes ou des cordes nivelées, méthode par ailleurs très astreignante. Quel moyen était donc disponible pour horizontaliser la visée? Le niveau à bulle d'air ne fut inventé qu'en 1661 par THEVENOT [9] et n'existait donc pas encore à l'époque de la construction du canal. Du reste, ce premier modèle de niveau à bulle n'était guère utilisable dans la pratique, étant donné que le récipient du liquide était un tube de verre absolument droit. L'absence de cintrage du tube rendait l'instrument trop sensible. Par ailleurs, on utilisait trois autres instruments de nivellement qui étaient connus depuis l'antiquité et qui étaient décrits dans les traités de technique de construction antiques: il s'agit d'une part du niveau à pendule et d'autre part du niveau d'un liquide qui est versé soit dans un récipient allongé (cf. le principe du Chorobate de VITRUVE, fig. 3 et 4, XII), soit dans un tube en »u« (principe du niveau d'eau, fig. 4, VI, VII).

Voyons d'abord de plus près le niveau à pendule, qui est pourvu d'un fil à plomb pour indiquer la verticale. Un pendule d'une longueur de 30 cm et d'une précision de 0,2 mm permet un nivellement à ± 2 cm sur une distance de 30 m.

Si l'on tient compte de la loi de propagation d'erreurs variables pour une erreur de visée de

gewährleistet, jedoch ist die Handhabung als Troginstrument ziemlich umständlich. Deshalb benutzte man meist die zusätzlich angebrachten Lote zur Horizontierung und den Wasserspiegel von 1 bis 2 m Länge nur bei windigem Wetter. Wie aus der obigen Statistik hervorgeht, ist im 18. Jahrhundert der Zuspruch nur noch sehr gering, während um 1548 bei RYFF diese Troginstrumente (Abb. 3) als der vorherrschende Instrumententyp dargestellt werden. [12]

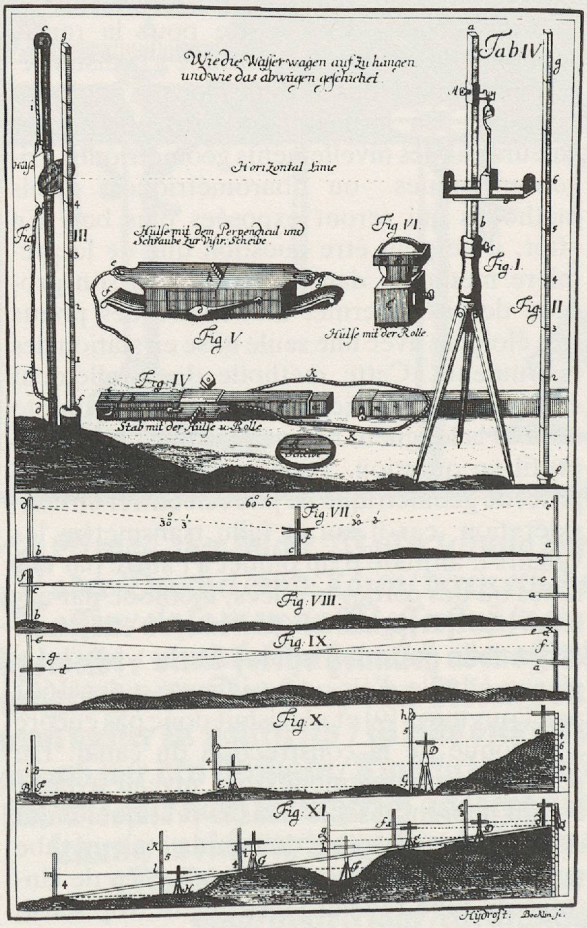


Abb. 5 Die Hänge-Waage (n. Leupold)
Fig. 5 Le niveau suspendu

Die Kanalwaage hat sich in ihrer praktischen Anwendung bis heute gehalten. Zwar besteht sie heute aus einem langen transparentem PVC-Schlauch und ermöglicht so die Höhenübertragung über große Distanzen. Als Diopter-Instrument wird sie aber kaum noch genutzt. Im 17. Jahrhundert war eine Nutzung aber gut vorstellbar, und man mußte auch damals mit der oben ermittelten Genauigkeit rechnen.

Wie die obige Statistik auch erkennen läßt, brachte die Ablösung der Diopter durch das Zielfernrohr eine Weiterentwicklung. Das Zielfernrohr wurde 1669 bei PICARD [5] noch durch ein Fadenlot und 1660 bei HUYGENS [13]

± 2 cm sur une distance de 30 m, on atteint une précision de ± 3 cm. Pour un distance de visée de 30 m et une longueur de la moitié du profil longitudinal de 20 km, la marge d'erreur du nivellement est

$$\pm 3\ \text{cm} \cdot \sqrt{20.000\ \text{m} / (2 \cdot 30\ \text{m})} = \pm 55\ \text{cm}.$$

Cette marge d'erreur était certainement acceptable lors de la construction du canal.

On arrive à une précision du même ordre quand on suspend la lunette dioptrique directement à un fil, en lui faisant jouer le rôle du plomb. Cet instrument que l'on appelait »niveau suspendu« fut décrit d'abord par DUBRAVIUS[10] en 1545 sous le nom de »dioptra«. Ce type de niveau comporte l'avantage d'une construction et d'une manipulation simples et les mesures sont pratiquement exemptes d'erreurs étant donné que les lectures s'effectuent à partir du point central du champ à lever.

LEUPOLD[11] énumère les instruments suivants dans son livre paru en 1726 qui est intitulé »Theatri statici universalis«:

- 12 constructions de niveau à pendule (dont 3 pourvus d'une lunette).
- 14 constructions à dioptre suspendu (dont 11 avec lunette).
- 7 constructions de niveau d'eau, soit 5 à canal et 2 pourvus d'un bassin allongé (dont 2 avec lunette).
- 1 construction de niveau à bulle d'air, avec lunette.

Cette liste révèle qu'on utilisait en premier lieu le dioptre suspendu, un fait qui est confirmé par une description détaillée de cet instrument, qui s'étend sur deux pages (fig. 5).

Le Chorobate et le niveau d'eau à canal demandaient pour leur fonctionnement une certaine quantité d'eau qui était à emporter sur le terrain et qu'il fallait renouveler fréquemment.

Un trépied à tête articulée permettait d'ajuster le plan d'eau au rebord supérieur du récipient. La longueur remarquable du canal (jusqu'à 6 m) assurait une haute précision de visée, mais rendait l'instrument peu maniable dans la pratique.

Il s'en suit que l'on préférait pour le nivellement par temps calme les fils à plomb dont ces instruments étaient munis en accessoires, les niveaux d'eau d'une longueur de 1 à 2 m étaient utilisés les jours où il faisait du vent.

La liste ci-dessus nous apprend aussi que ce dispositif n'avait plus grand succès au XVIIIe siècle, alors qu'en 1548, tout au contraire, RYFF [12] présentait le niveau d'eau à canal ou à bassin comme le modèle le plus usité (fig. 3).

durch die Aufhängung des gesamten Instruments als Lot horizontiert.
Ein geometrisches Nivellement (Abb. 5), bei dem durch eine horizontale Visur die Höhe übertragen wird, kann auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Heute ist das Nivellement aus der Mitte üblich, da sich bei dieser Meßanordnung der Einfluß der Erdkrümmung und vorhandene Instrumentenfehler nicht auswirken. Hier ergibt sich nämlich der Höhenunterschied als Differenz der Ablesungen beim Rück- und Vorblick, die beide mit den gleichen Fehleranteilen behaftet sind und sich also in der Differenz aufheben.
Rück- und Vorblick konnten früher nicht ansprechenden, das heißt geteilten Latten ausgeführt werden, da schon ab 30 m Entfernung eine cm-Lattenteilung ohne Fernrohr nicht mehr abzulesen war. Bei ihnen wurde die Lage der Visur daher durch das Einweisen einer verschiebbaren Tafel (Abb. 5) vorgenommen. Schon HERON benutzte solche Latten [14]. Die Lattenhalter hatten dabei die Tafelhöhen zu notieren, und der gemessene Höhenunterschied ergab sich später als Differenz der eingewiesenen Tafelhöhen.
Früher waren jedoch auch noch einfachere Anordnungen der Latten üblich [15]. So wurde z.B. bergauf nur auf einem Ende aus der Höhe eines Stockstativs nivelliert und die Stelle ermittelt, in der die Visur den Boden trifft. Dort erfolgte eine weitere Aufstellung, womit sich der Gesamthöhenunterschied dann als Vielfaches der Stockhöhe ergab. Infolge der Vernachlässigung von Erdkrümmung und Instrumentenfehlern waren die Ergebnisse nicht frei von systematischen, wenn auch verhältnismäßig kleinen Fehlern. Die Meßgeschwindigkeit war aber groß und die Ergebnisse genügten oft den Erfordernissen.
Höhenunterschiede können auch durch ein trigonometrisches Nivellement ermittelt werden. Hier müssen aber der Höhenwinkel α und die Entfernung S bekannt sein, um hiermit den Höhenunterschied

$$h = S \cdot \tan \alpha$$

berechnen zu können. Dieses Verfahren schied aber wohl aus, da damals die Teilkreise nicht die erforderliche Genauigkeit aufwiesen und auch die Längenmessung nicht mit einer ausreichenden Genauigkeit durchgeführt werden konnte.
Auch das Verfahren der barometrischen Höhenmessung schied aus. Einmal wurde es zuerst 1648 praktisch angewandt, und zum anderen lieferte es nur eine Genauigkeit von ± 10 m über größere Entfernungen. Rückblikkend kann man also sagen, daß um 1640 zum

Le niveau d'eau à canal est encore employé aujourd'hui. Le récipient allongé a cependant été remplacé par un long tuyau en PVC transparent, qui permet un nivellement sur de grandes distances. Dans sa forme dioptrique, ce genre de niveau est tombé en désuétude. Son usage n'en reste pas moins plausible au XVIIe siècle où l'on travaillait avec les marges de précision qui ont été présentées plus haut.
La liste vue précédemment atteste un certain progrès dans la construction des instruments, qui se manifeste dans le remplacement du dioptre par la lunette de visée. En 1669, PICARD mettait la lunette de visée à l'horizontale par un fil à plomb, tandis que HUYGENS, en 1660, suspendait l'entier de l'instrument de manière que la lunette elle-même serve de plomb.

Le nivellement altimétrique par visée horizontale (fig. 5) s'effectue de différentes manières. Aujourd-hui, un nivellement se fait généralement à partir du point central du terrain à lever afin d'éviter l'influence de la courbure de la terre ainsi que les imprécisions dues aux instruments de mesure.
En suivant cette méthode, la différence d'altitude résulte de la lecture de visées faites dans deux sens opposés. Etant donné que les erreurs sont identiques dans les deux directions, elles tendent à s'annuler réciproquement.

Autrefois, les visées avant et arrière ne pouvaient être exécutées au moyen de mires lisibles graduées, pour la simple raison que l'on ne pouvait plus à partir de 30 mètres discerner à l'oeil nu une subdivision centimétrique. C'est pourquoi on déterminait la hauteur de la visée à l'aide d'une plaque coulissant sur la latte (fig. 5); cette méthode avait déjà été appliquée par HERON[14]. Les porteurs de mires notaient la hauteur du repère à chaque mesure et on calculait ensuite la différence d'altitude par soustraction des deux valeurs retenues.

Auparavant, d'autres méthodes de nivellement étaient en usage, qui étaient encore beaucoup plus simples[15]. Pour niveler une pente, par exemple, on procédait de la manière suivante: à la montée, à la première station, on repérait du haut d'un statif le point d'intersection de la ligne de visée horizontale avec la pente. On répétait ce procédé en se mettant en station au point d'intersection préalablement défini. La différence d'altitude résultait alors de la multiplication de la hauteur du statif par le nombre de stations effectuées.

En négligeant la courbure de la terre et avec les imprécisions dues aux instruments, les résultats comportaient des erreurs systématiques

einen Diopterinstrumente zum Zielen und wahrscheinlich wohl Hängewaagen oder Pendelinstrumente zum Nivellieren sowie der Meßtisch zur Lagemessung eingesetzt wurden.

Bibliographie

[1] Heissler, Viktor: Kartographie (Berlin 1962) 177.
[2] Pelet, Paul-Louis: Le Canal d'Entreroches (Lausanne 1946).
[3] Galilei, Galileo: Siderus nuntius (Frankfurt 1610).
[4] Riekher, Rolf: Fernrohre und ihre Meister (Berlin 1957) 53.
[5] Picard, Jean: Mesure de la terre (Paris 1669).
[6] Schwenter, Daniel: Geometricae practicae novae et auctae (Libri IV. Nürnberg 1618) III., Fig. 3.
[7] Zubler, Leonhard: Novum instrumentum geometricum (Basel 1625; Reprint Dortmund 1978) 19.
[8] Gemma Frisius, Reiner: Libellus de locorum describendorum ratione (Antwerpen 1540).
[9] Thevenot, Melchisedeck: Machine nouvelle pour conduir les eaux (Paris 1666).
[10] Dubravius: De piscinis (1545).
[11] Leupold, Jacob: Theatri statici universalis (Pars IV Leipzig 1726; Reprint, Hannover 1982).
[12] Ryff, Walter: Der furnembsten der gantzen Architektur gehörigen math. und mech: Kunst (Nürnberg 1547).
Grewe, Klaus: Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv. Allgem. Verm. – Nachr. 88, 1981, 205.
[13] Dreier, Franz Adrian: Winkelmeßinstrumente vom 16. bis zum frühen 19. Jahrhundert (Berlin 1979) 144.
[14] Kiely, Edmond, R.: Surveying instruments. Their History (Reprint Columbus USA 1979).
[15] Schmidt, Fritz: Geschichte der geodätischen Instrumente und Verfahren im Altertum und Mittelalter (Neustadt an der Haardt 1935).
[16] Grote, Andreas: Der vollkommene Architectus (München 1959).

qui restaient néanmoins relativement faibles. La rapidité de cette méthode était considérable et les résultats répondaient souvent aux exigences.

En principe il est possible également de déterminer les différences d'altitude par un nivellement trigonométrique. Il suffit de connaître l'angle de pente α et la distance S pour faire le calcul.

$$h = S \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

h représentant la différence d'altitude.

Mais cette méthode ne pouvait entrer en considération, étant donné que ni les subdivisions du cercle, ni la mesure des distances n'assuraient la précision nécessaire.

Il ne pouvait être question non plus d'une mesure d'altitude barométrique. Sa première application ne date que de l'année 1648 et la précision de ± 10 m sur de grandes distances était insuffisante.

Nous pouvons ainsi conclure que, dans les années 1640, on se servait d'instruments dioptriques pour la visée, sans doute de niveaux (dioptres) suspendus ou d'instruments à pendule pour le nivellement, et de la planchette pour la détermination de la position des points.