

PICARD ET LE RENOUVELLEMENT DE L'ART DU NIVELLEMENT À LA FIN DU XVII^e SIÈCLE

*Par Michel KASSER
(I.G.N., Saint-Mandé)*

I — Introduction

Le Nivellement se définit de nos jours comme la science qui permet le calcul des altitudes, à partir de la mesure de la dénivelée entre divers points reliant un repère de référence (fréquemment il s'agit du niveau moyen de la mer) aux points considérés. C'est dire que les problèmes techniques du Nivellement sont presque exclusivement liés à ceux de mesures altimétriques. Les solutions les plus simples et les plus précises font appel systématiquement à l'emploi d'un « niveau » — permettant de repérer l'horizontale issue de l'œil de l'observateur — et de mires, simples règles graduées tenues verticalement, sur lesquelles nous ne nous attarderons pas. Le « niveau » est donc un instrument qui regroupe deux fonctions, l'une étant de visée — permettant le pointé sur une mire à quelque distance de l'appareil —, l'autre de calage par rapport à la verticale au moyen d'un dispositif sensible à la pesanteur — pendule ou bulle emprisonnée sous une surface sphérique ou torique —.

Depuis l'Antiquité, il apparaît clairement que cette technique topographique n'a jamais cessé d'être la plus précise de toutes celles utilisées, cela étant dû aux propriétés particulièrement favorables du champ de pesanteur terrestre. Par exemple l'aqueduc souterrain de Samos construit vers 530 avant JC par Eupalinos de Mégare, long de 1250 m, fut percé simultanément depuis chaque extrémité, les deux tronçons se joignant avec une erreur de 5,5 m en planimétrie et de 2,8 m en altimétrie¹. Plus récemment, rappelons que le tunnel du Mont Blanc, long de 11,6 km et évidemment aussi commencé depuis les deux extrémités simultanément, présentait un écart lors de la rencontre des deux galeries de 13,5 cm en planimétrie et de 2,5 mm en altimétrie. Et les premières déformations lentes de l'écorce terrestre mesurées avec précision ont été des mises en évidence de mouvements verticaux. Comme ces techniques de Nivellement sont primordiales pour tous les travaux d'hydraulique, nous pouvons voir dans leur évolution la marque même de l'évolution de la technicité et du savoir-faire des civilisations dans un domaine de pointe.

II — Le Nivellement, de l'Antiquité jusqu'au XVII^e siècle

Pour le contrôle des assises de grands bâtiments, il semble que depuis fort longtemps il ait été fait appel à un nivellement hydrostatique : une rigole remplie

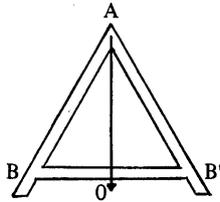


Fig. 1
Schéma du niveau de maçon.

d'eau courant le long des éléments qui devaient être au même niveau. Mais excepté cette technique très particulière, l'instrument le plus répandu paraît avoir été un niveau du type niveau de maçon (fig. 1), en forme de A, avec comme critère d'horizontalité de BB' le fait que le fil à plomb suspendu en A passe devant une graduation 0 de la barre horizontale. Si l'instrument est utilisé sur une surface, il permet de juger de son horizontalité, et s'il est tenu à la main, c'est la base BB' qui peut servir de ligne de visée. Ce qui nous suggère les remarques suivantes :

— c'est un instrument facile à régler, par retournement sur une surface plane. Si cette dernière est bien de niveau, l'échange de position entre les pieds B et B' ne doit pas montrer de changements de place du fil à plomb en O.

— sa précision est limitée par la valeur de OA. Le fil peut être mis en coïncidence en O à 1 mm près environ, donc si OA fait 10 cm (resp. 1 m) la précision ne saurait être bien meilleure que 10 m (resp. 1 m) d'erreur par kilomètre de visée.

— c'est un appareil difficile d'emploi : le système de visée est grossier, et surtout il est impossible d'observer le fil à plomb en même temps que l'on vise (d'où la nécessité d'employer deux personnes pour une visée). Par ailleurs le pendule devra être amorti à la main et il sera presque impossible d'opérer s'il y a du vent.

Nous disposons de peu d'éléments pour juger des détails de ces instruments, employés pourtant par les grandes civilisations qui ont eu l'occasion de mener à bien des travaux d'hydraulique considérables : nous trouvons des canaux et des aqueducs en Perse, en Egypte ; et les Grecs et les Romains ont fait des travaux admirables qui nécessitaient un sérieux savoir-faire dans le domaine qui nous intéresse ici.

Toutefois il faut au moins citer Vitruve, architecte célèbre de l'époque d'Auguste, qui nous a laissé quelques écrits parmi lesquels se trouve la description d'un « Chorobate »². Cet instrument a été étudié par de nombreux auteurs depuis la Renaissance, et a fait l'objet de plusieurs tentatives de reconstitution³. Tous les écrits à ce sujet permettent d'affirmer que le « Chorobate », sorte de niveau de maçon amélioré, a représenté l'état de l'art jusqu'aux environs du XVII^e siècle. Cet instrument (fig. 2, p. 267) bénéficie d'un système de visée plus précis (formé par des

Eygentliche Fürrechnung mancherley Instrument
der Wasserwagen und abschen der Vermessung.
Magst hierüber auch wol sehen die figur oben am 243. blat.

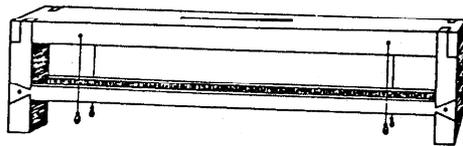
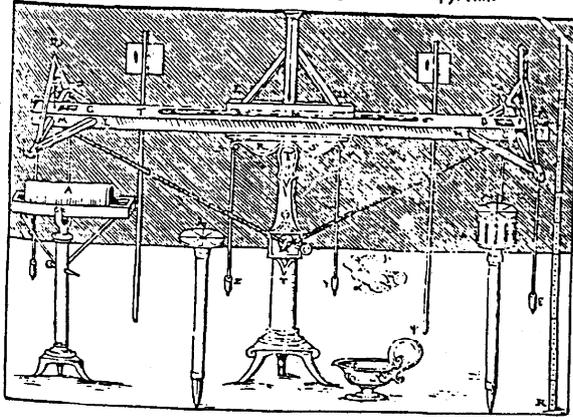


Fig. 2 — Les deux types de reconstitutions du Chorobate, d'après diverses éditions et traductions du *De architectura* de Vitruve publiées à la Renaissance : a) en haut, restitution de Walther Hermann Ryff (Nüremberg, 1547), reprise de celle de Cesare Cesariano (Côme, 1521) ; b) en bas, restitution de Daniello Barbaro (Venise, 1567), adoptée plus tard pour l'essentiel par Claude Perrault (Paris, 1673).
Source : K. GREWE, « Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv », *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag, LXXXVIII (1981), n° 6, Juni 1981, p. 209 et 210.

pinnules), d'un système de fin pointé avec une cordelette et un petit treuil, et d'un critère d'horizontalité mixte formé d'un ou plusieurs pendules pour dégrossir la visée et d'une rigole remplie d'eau pour un calage plus précis. Certaines reconstitutions tardives ont atteint des dimensions linéaires de plusieurs mètres (jusqu'à 6 m). Ainsi nous pouvons nous livrer à quelques commentaires sur les techniques de Nivellement les plus raffinées de toute cette période :

— La précision, exigée par les nombreux ouvrages d'hydraulique à pentes faibles, s'est améliorée pour atteindre une erreur probable kilométrique de quelques décimètres.

— La commodité de mise en œuvre est pour le moins discutable. Les gravures nous représentent un instrument avec un pied ayant une faible emprise au sol, donc peu stable, disposant d'un fin pointé en site certainement très peu commode et imprécis, et ayant une grande prise au vent. Bref, un tel appareil semble vraiment peu utilisable sur un chantier et sa mise en œuvre sur le terrain ne devait pas être à proprement parler une partie de plaisir. Le gain de précision n'est dû qu'à la grande dimension de l'instrument.

Il est d'ailleurs paradoxal de constater que le manque d'imagination technique conduit presque toujours à des appareils énormes, lorsque la précision maximale est recherchée : ceux-ci risquent ainsi d'être abandonnés du jour au lendemain parce qu'un peu de sens pratique aura conduit tel concepteur à revoir complètement la technologie employée à la lumière d'un savoir-faire emprunté à un tout autre domaine.

III — Picard et les débuts de l'Académie des Sciences

Cette nouvelle analyse du niveau de précision, c'est à Jean Picard que nous la devons, avec cette idée très fructueuse qu'il eut de placer un réticule au foyer commun de deux lentilles convexes⁴. La lunette de visée étant ainsi créée, il y eut dès lors des quantités d'instruments nouveaux conçus sur ce principe, tant en astronomie qu'en géodésie et en topographie. Mais s'agissant en particulier des niveaux, nous verrons que, bien au-delà de cette invention optique, la conception générale du niveau de Picard est celle qui a eu le plus d'avenir, puisqu'elle n'a été détrônée pratiquement que trois siècles plus tard, depuis quelques années tout au plus.

Voyons rapidement les différents niveaux à lunette conçus à cette époque au sein de l'Académie des Sciences⁵, essentiellement pour faire face aux besoins en eau du château de Versailles⁶.

Le niveau conçu par Picard dès les premières années de l'Académie et qu'il n'a cessé par la suite de perfectionner (fig. 3-4, p. 269) utilise bien sûr une lunette avec un réticule, permettant ainsi un pointé très précis. Son autre caractéristique est un fil à plomb très fin (un cheveu) lesté d'une petite masse. Le repère (équivalent du point 0 de la fig. 1) est remplacé par une plaquette en argent finement gravée. La position du fil peut donc permettre de véritables mesures angulaires autour de l'horizontale. L'ensemble étant dans une boîte fermée et supporté par un grand trépied,

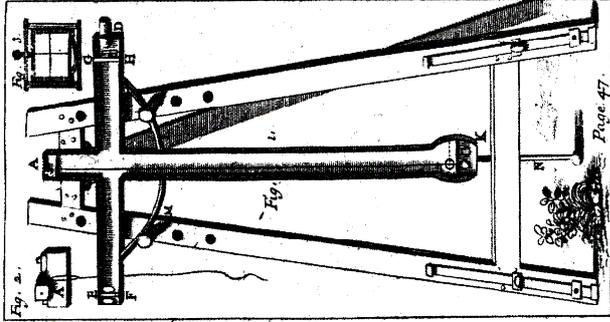


Fig. 4 — Le niveau de précision de Picard dans son état final (*Traité du Nivellement*, Paris, 1684, fig. h.-t. p. 47). Centre Alexandre Koyré.

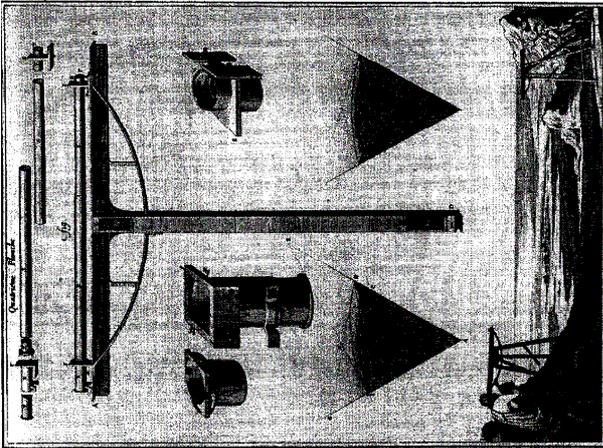


Fig. 3 — Le niveau de précision de Picard dans son premier état (*Mésure de la Terre*, Paris, 1671, pl. IV h.-t., Bibliothèque Nationale). Phot. Bibl. Nat., Paris.

l'instrument devient stable et parallèlement, très précis : certains aqueducs mis en œuvre pour Versailles offrent une pente très faible, ce qui implique des opérations de nivellement avec une erreur probable kilométrique de l'ordre de 1 cm !

Nous voyons que sur un principe tout à fait classique, Picard a en fait repensé tout l'instrument, et l'a rendu bien plus maniable et puissant. Sa mesure de la Terre toute récente lui permet d'ailleurs d'établir pour la première fois la correction de niveau apparent due à la sphéricité de la Terre⁷. Auparavant, jamais la précision des mesures n'avait été suffisante pour qu'une telle correction soit utile.

Les niveaux conçus au cours des années suivantes par Rømer, Huygens, La Hire, etc., sont des niveaux automatiques, c'est-à-dire que l'axe de la visée est spontanément horizontal sans réglages à chaque station. Par contre ils exigent un réglage très soigné avant chaque séance de mesures. Voyons l'instrument conçu par Huygens (fig. 5, p. 271)⁸ : il est formé par une lunette suspendue par un anneau et lestée par une masse à un autre anneau symétrique du premier. La masse baigne dans un boîtier plein d'huile afin d'amortir les oscillations. L'ensemble est partiellement caréné pour obtenir une moindre sensibilité au vent. Le réglage de l'instrument se fait en deux séquences et vise à obtenir que le point visé dans la lunette soit le même :

- que la masse soit ou non suspendue au bas de l'appareil,
- que la lunette soit suspendue par un anneau ou par l'autre.

Toutefois, il faut noter que ce bel équilibre ne s'obtient que pour une seule position de mise au point. Pour tout réglage de la netteté, tout est à recommencer. Les commentaires appelés par une telle conception sont par exemple les suivants :

- L'assise de l'instrument est médiocre, et sa stabilité doit s'en ressentir.
- L'instrument peut se régler sans changer de station, contrairement aux autres – y compris ceux d'aujourd'hui – pour lesquels on préconisera un réglage en deux stations. Cet aspect attirera à ce niveau les faveurs des usagers pendant quelque temps⁹.
- Le pointé sera nécessairement peu précis, et particulièrement en azimut à cause de l'impossibilité pratique qu'il y a à guider latéralement la lunette sans introduire de frottements malvenus.
- La prise au vent est considérable, et le carénage est incomplet. De plus le bain d'huile n'amortit guère que suivant un seul des nombreux degrés de liberté du système.

Somme toute, c'est un appareil qui est d'un principe séduisant, mais qui doit s'avérer sur le terrain à la fois nettement moins précis et moins commode d'emploi que celui de Picard¹⁰.

Passons rapidement sur les instruments de Rømer, pratique mais peu précis, et de La Hire, probablement inutilisable quoique astucieux dans son principe (fig. 6, p. 271). Mentionnons plutôt la dernière invention qui complètera la gamme des techniques exclusivement utilisées jusqu'à nos jours. En 1666 Thévenot publie son invention de la nivelle torique¹¹. Lorsque la qualité des fioles permettra des repérages meilleurs que ceux obtenus par un fil à plomb comme celui du niveau

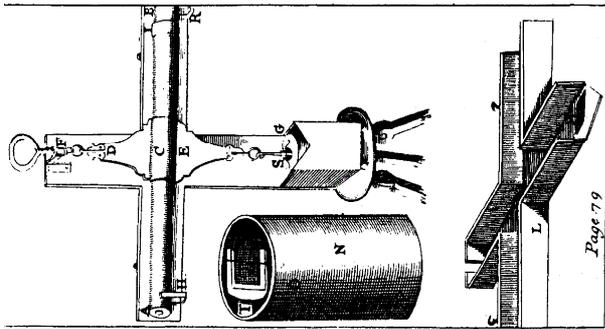
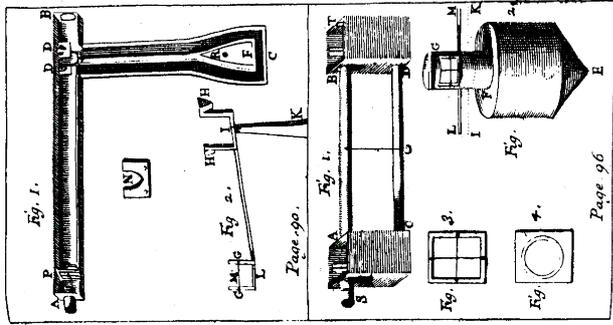


Fig. 6 — Niveaux automatiques conçus par Rømer, en haut, et La Hire, en bas (J. PICARD), *Traité du Nivellement*, Paris, 1684, fig. h.-t. p. 90 et 96). Centre Alexandre Koyré.

Fig. 5 — Le premier niveau automatique, celui conçu par Huygens (J. PICARD), *Traité du Nivellement*, Paris, 1684, fig. h.-t. p. 79). Centre Alexandre Koyré.

de Picard, (ce qui va mettre encore environ un siècle), l'instrument quasi définitif sera conçu.

IV — L'évolution des instruments après Picard

Le niveau du type Huygens était insuffisamment précis. Diverses contributions essaieront de remédier à ses défauts, d'où l'apparition de divers instruments issus de ce principe à la fin du XVII^e et au début du XVIII^e siècle, tel celui du musée du C.N.A.M. fait par Butterfield vers 1680-1690¹². Cet instrument utilise deux lunettes opposées et parallèles ; vraisemblablement c'était la seule possibilité de faire facilement des visées inégales sans être obligé de régler complètement l'instrument entre la visée arrière et la visée avant, car un changement de mise au point eut été inévitable avec une seule lunette. Cela permet aussi, dans un cheminement rectiligne, de bouger au minimum l'appareil pour passer du coup arrière au coup avant. De nos jours la lunette est montée sur un roulement à billes sans jeu à axe vertical, mais c'est une technologie qui n'existait pas alors.

Ce type de niveau est resté de ce fait un appareil certes « rectifiable d'une seule station », mais aussi exigeant des réglages incessants, malgré la sophistication considérable des réalisations qui sont parvenues jusqu'à nous.

Rien d'étonnant donc au fait que l'appareil de précision utilisé pour les grands travaux de Nivellement jusqu'au XX^e siècle accuse franchement l'héritage de Picard et non celui de Huygens. Ce sera un niveau non automatique, monté sur un large trépied, tirant toute sa précision de sa solidité et de sa rusticité, avec comme critère de réglage une nivelle torique dès que le savoir-faire en ce domaine sera suffisant. Nous ne pouvons qu'admirer la perspicacité de Picard en ce domaine, puisqu'il a agi autant en savant qu'en homme de terrain doué d'un remarquable sens pratique : celui qui conçoit ses propres instruments arrive souvent à de meilleurs résultats que celui qui conçoit ceux des autres, parce qu'il peut immédiatement constater leurs défauts et parce qu'il sait y remédier.

Ces qualités de Picard sont ainsi d'autant mieux mises en valeur que Huygens, ce génie incontesté de l'Académie naissante, s'est intéressé au même domaine que lui ; or les résultats de leurs travaux sont diamétralement opposés : un système pratique et précis mais très simple, contre un autre, éblouissant d'astuces en tous genres, mais trop compliqué et finalement abandonné. Ce n'est guère que depuis une dizaine d'années que la précision et la fiabilité des niveaux automatiques leur a permis de supplanter franchement les instruments classiques...

Une remarque enfin concernant la technique du Nivellement : Picard a écrit un « Traité du Nivellement » qui, édité après sa mort par La Hire, fera référence pendant plus d'un siècle et demi¹³. Il est intéressant de voir que, si tous les détails pratiques des observations y sont étudiés, l'étude du phénomène de réfraction atmosphérique (déjà connu et mesuré en Astronomie à cette époque) est complètement laissée de côté sous prétexte que la réfraction n'est pas sensible lorsque la

distance n'excède pas 1000 toises, soit près de 2 kilomètres¹⁴, de sorte que les visées autorisées en terrain plat étaient fort longues (un kilomètre et plus selon les travaux). Ce n'est guère là que le seul reproche discret que nous puissions glisser sur cette belle œuvre : en dépit de l'oubli presque total dans lequel son nom est resté, il semble bien que Picard doive être considéré comme l'arrière-grand-père des Nivellements modernes et plus généralement des grands travaux de topométrie de précision.

NOTES

1. R. LESPRIT, « Les sciences géographiques dans l'Antiquité », *Géomètre*, 115^e année (1972), n° 7, p. 27-37 ; n° 8-9, p. 14-25 ; n° 12, p. 48-57 (spécialement n° 8-9, p. 25).
2. VITRUVÉ, *De architectura*, VIII, 5, 1-3.
3. K. GREWE, « Über die Rekonstruktionsversuche des Chorobates, eines römischen Nivelliergerätes nach Vitruv », *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, LXXXVIII (1981), n° 6, p. 205-213.
4. Voir dans ce volume la communication de R. M. McKEON.
5. Les considérations qui suivent sont basées sur la description des instruments donnée au chapitre II, pages 37-109 et figures hors texte, du *Traité du Nivellement*. Par M. Picard, de l'Académie Royale des Sciences, avec une Relation de quelques Nivellemens faits par ordre du Roy. Et un Abbregé de la Mesure de la Terre du même Auteur. Mis en lumiere par les soins de M. De La Hire... , Paris, 1684 (abrégé à la suite : *Traité du Nivellement*).
6. Sur cette question, voir dans ce volume l'étude détaillée de H. LORIFERNE.
7. [J. PICARD], *Mesure de la Terre*, Paris, 1671, art. XII, p. 25-28 ; *Traité du Nivellement*, Paris, 1684, chap. I, p. 1-11.
8. Sur l'invention du niveau à lunette de Huygens en 1679, et sur les perfectionnements que le savant hollandais lui apporta ultérieurement, voir *O. c. Chr. Huygens*, t. XXI, publ. 1944, p. 71-108, où l'on trouvera en outre de nombreux renseignements sur les autres niveaux conçus à cette époque, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'Académie des Sciences.
9. G. PICOLET, « Huygens et Picard », *Huygens et la France*, Paris, 1982, p. 85-97, spécialement p. 89.
10. Il est d'ailleurs significatif à cet égard qu'on ait utilisé le niveau de Picard et non celui de Huygens lors de la plupart des grands nivellements effectués pour l'alimentation en eau du château de Versailles sous Louis XIV, tant avant qu'après la mort de Picard : voir à ce sujet la communication de H. LORIFERNE déjà mentionnée.
11. [M. THÉVENOT], *Machine Nouvelle pour la conduite des Eaux, pour les Bâtimens, pour la Navigation, & pour la plupart des autres arts*, Paris, 1666.
12. C.N.A.M. 12917. Cet instrument a figuré au catalogue de l'Exposition Jean Picard qui s'est tenue à l'Observatoire de Paris en octobre 1982 (*Jean Picard et la Mesure de la Terre. Astronomie et Géodésie au 17^e siècle*, Paris, 1982, p. 35).
13. Après l'édition originale de 1684 mentionnée ci-dessus note 5, l'ouvrage a fait l'objet de plusieurs rééditions, tant séparément que dans divers recueils — à Paris en 1728, 1729, 1730, 1780 ; à La Haye en 1731 ; à Amsterdam en 1736 —, sans compter des traductions en italien et en allemand qui ont elles-mêmes été réimprimées à plusieurs reprises.
14. *Traité du Nivellement*, Paris, 1684, chap. I, p. 11.