



HAL
open science

Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800

Frédéric Graber

► **To cite this version:**

Frédéric Graber. Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800. *Histoire & Mesure*, 2006, 21 (2), pp.29-54. 10.4000/histoiremesure.1745 . halshs-00645474

HAL Id: halshs-00645474

<https://shs.hal.science/halshs-00645474>

Submitted on 29 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800

Levelling, a Measurement for Acting around 1800

Frédéric Graber



Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoiremesure/1745>

DOI : [10.4000/histoiremesure.1745](https://doi.org/10.4000/histoiremesure.1745)

ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 1 décembre 2006

Pagination : 29-54

ISBN : 2-7132-2095-5

ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Frédéric Graber, « Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800 », *Histoire & mesure* [En ligne], XXI - 2 | 2006, mis en ligne le 01 décembre 2009, consulté le 03 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/1745> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoiremesure.1745>

Frédéric Graber *

Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800

Résumé. Cet article étudie la pratique du nivellement chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées autour de 1800. Il cherche à montrer d'une part comment cette pratique se constitue contre celles d'autres professionnels. Une insistance sur la précision des nivellements permet aux ingénieurs de se poser comme seuls légitimés à décider de la qualité des projets de travaux publics. L'article cherche d'autre part à expliquer l'existence de désaccords internes au corps des Ponts et Chaussées à propos du nivellement, comme révélateurs d'une transition entre le XVIII^e et le XIX^e siècle : au lieu d'une pratique ponctuelle à l'occasion d'un projet particulier, certains ingénieurs se prennent à rêver d'un nivellement général, mesure globale des hauteurs à l'échelle de la nation, qui permettrait de déplacer les activités de décision vers le cabinet, et de montrer mathématiquement la supériorité d'un projet sur un autre.

Abstract. Levelling, a Measurement for Acting around 1800.

The aim of this paper is to study the practice of levelling by the Ponts et Chaussées engineers around 1800. First, it shows how this practice developed in opposition to that of other professionals: by focusing on the precision of levelling, engineers presented themselves as the only legitimate decision makers for public works projects. Second, it analyses the emergence of controversies about levelling inside the *Ponts et Chaussées* corps as revealing a transition from the eighteenth to the nineteenth century: instead of a local practice on the spot for each specific project, some engineers began at the turn of the nineteenth century to dream of a so-called general levelling, a global approach of heights on a national scale, which would allow engineers to shift the decision making activities from the field into the office, and compare mathematically the quality of projects.

* Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Boltzmannstr. 22, D-14195, Berlin.
E-mail : fgrab@mpiwg-berlin.mpg.de

Le nivellement est une technique qui vise à mesurer ou à établir une différence de niveau (c'est-à-dire de hauteur) entre des points plus ou moins éloignés. Dans sa forme la plus simple, elle consiste à établir l'horizontalité ou l'inclinaison d'une ligne ou d'une surface, ce qui est essentiel pour de nombreuses activités de construction. Contrairement à d'autres techniques d'arpentage ou de levé de plan ou de carte, le nivellement n'a pas beaucoup retenu l'attention des historiens : on y a vu une opération triviale, largement anhistorique, dont on pourrait retracer l'évolution vers une toujours plus grande précision à travers les transformations des instruments utilisés, les niveaux¹. Le nivellement recouvre en réalité des pratiques diverses, mises en œuvre par différents groupes professionnels, des pratiques qui ont connu, selon les groupes, des transformations plus ou moins importantes.

C'est de cette diversité et de ces transformations des pratiques qu'il sera question ici, dans un moment pivot pour le nivellement qu'est le tournant du XVIII^e au XIX^e siècle, et ce à travers l'examen de traités qui paraissent en nombre dans les années 1800, mais surtout d'un projet très polémique : celui du canal de l'Ourcq, révélateur de différentes formes et de différents problèmes du nivellement. Dans un premier temps, je me consacrerai à la pratique des ingénieurs des Ponts et Chaussées pour montrer comment elle se construit largement contre celles d'autres professionnels, en particulier grâce à une insistance sur la précision. Je montrerai alors comment cette opposition de pratiques se manifeste dans le cas concret du canal de l'Ourcq. Dans un second temps, j'étudierai un désaccord entre ingénieurs des Ponts et Chaussées, dans le cadre du même projet de l'Ourcq, pour comprendre comment une mesure aussi standardisée et centrale dans l'activité de ces ingénieurs peut devenir polémique. Je montrerai alors en quoi ce désaccord est révélateur d'une transition dans les pratiques de nivellement de ces ingénieurs, de l'apparition d'un rêve nouveau, celui du nivellement général.

1. LEVALLOIS, J.-J., 1988, pp. 113-123. BENNETT, J. A., 1987, pp. 151-152 en particulier. WESS, J., 1998. MINOW, H., 1986.

1. Le nivellement entre ingénieurs et entrepreneurs

Le manuel du niveleur

Dans les toutes premières années du XIX^e siècle, plusieurs ingénieurs des corps d'État publient des traités, manuels ou essais sur le nivellement². Ces auteurs prétendent combler une lacune : l'ouvrage de référence, *Traité de nivellement* de Jean Picard paru en 1684, n'avait pas été réédité depuis longtemps et était devenu introuvable dans les librairies ; par ailleurs, les instruments qu'il décrivait n'étaient plus guère en usage à la fin du XVIII^e siècle³. Ces ouvrages parus dans les années 1800 reproduisent d'une manière amplifiée ce que Picard entendait faire en son temps : séparer les pratiques ordinaires des architectes et des ouvriers de la pratique savante de précision des experts d'État, laquelle est décrite comme le modèle à suivre pour les travaux publics⁴. Pour présenter la pratique du nivellement préconisée par ces auteurs, les gestes qu'elle implique et les instruments utilisés, je propose d'examiner un de ces traités, celui de l'ingénieur des Ponts et Chaussées Busson-Descars.

Les ouvrages sur le nivellement comportent en général une partie théorique. Il s'agit de distinguer le niveau réel, hauteur par rapport au centre de la Terre (les lignes de niveau sont des cercles), du niveau apparent, qui résulte d'une visée horizontale avec les instruments (les lignes de niveau sont alors des horizontales). Il faut aussi tenir compte de la réfraction, dont l'effet est d'élever les objets qu'on observe. Les ouvrages proposent donc des tables ou des formules correctives pour déduire le niveau réel du niveau apparent et intégrer la réfraction. De telles considérations théoriques sont en fait peu utiles dans la pratique : après y avoir consacré de nombreuses pages, ces mêmes ouvrages conseillent d'éviter ces corrections en se plaçant dans une configuration particulière. Si l'on installe l'instrument à égale distance des deux points dont on cherche à mesurer la différence de niveau, les corrections sont, en effet, les mêmes de chaque côté et disparaissent dans la

2. LESPINASSE, A., 1804 ; BUSSON-DESCARS, P., 1805 ; PUISSANT, L., 1807 ; FABRE, J.-A., 1809.

3. PICARD, J., 1684, réédité comme PICARD, J., 1730.

4. L'Académie des sciences, particulièrement les astronomes et géodésiens Jean Picard (1620-1682) et Philippe de La Hire (1640-1718), sont chargés dans les années 1670 et 1680 de missions de vérifications sur des projets d'entrepreneurs pour l'alimentation en eau de Versailles. Un cas typique est celui du projet de Pierre-Paul Riquet (qui est aussi l'entrepreneur du canal du Midi) de dériver une portion de la Loire jusqu'à Versailles ; Picard montre l'impossibilité de ce projet, développant à cette occasion un instrument dont les ouvriers refusent de croire la précision. PERRAULT, Ch., 1909, pp. 103-108 et 115-116.

soustraction des deux mesures. Les réflexions théoriques signalent donc surtout une pratique savante du nivellement : une pratique qui prétend à une certaine universalité (elle tient compte de toutes les situations) et conçoit la mesure pratique dans la continuité de considérations scientifiques, dont elle est censée n'être qu'un cas de figure particulier.

Les traités développent ensuite une partie pratique, souvent la plus importante, avec de multiples conseils, exercices et exemples. Il faut distinguer deux types de mesure. On peut vouloir mesurer seulement une différence de niveau entre deux points éloignés. C'est, en pratique, une des toutes premières opérations destinées à établir la possibilité d'un projet de canal : l'eau doit pouvoir couler selon une pente minimale. Mais les nivellements permettent aussi d'établir la forme du terrain entre ces deux points. Dans ce deuxième cas, il faut non seulement mesurer les cotes verticales (comme dans le premier type de mesure), mais aussi les distances horizontales le long de la ligne du canal : on peut alors obtenir un « profil en longueur ». Ce profil peut être augmenté par la connaissance du relief des deux côtés de la ligne du canal : on mesure alors le niveau de plusieurs points sur des perpendiculaires à la ligne, constituant ainsi des « profils en travers ». Seule cette dernière opération permet de connaître le relief à proximité de la ligne et de calculer les déblais et les remblais induits par un projet.

Picard ne traitait que le premier type de mesure — la différence de niveau entre deux points extrêmes d'un canal —, alors que les ingénieurs sont désormais très intéressés par les calculs de terrasses, qui prennent une grande place dans leurs projets⁵, calculs auxquels les traités de nivellement se consacrent largement. Cette évolution du nivellement savant correspond d'ailleurs à une transformation importante dans l'expertise d'État : lorsque Colbert demandait à Picard et à ses collègues de l'Académie des sciences de s'occuper de nivellement, il s'agissait de vérifier la possibilité de projets de canaux proposés par des entrepreneurs pour ne pas engager des deniers publics dans des entreprises hasardeuses, alors que les ingénieurs des Ponts et Chaussées sont en 1800 non seulement chargés de ces premières vérifications, mais aussi de la rédaction du projet selon les formes en usage dans ce corps, c'est-à-dire en particulier de l'évaluation des coûts par des calculs de terrasses⁶.

5. En particulier dans l'exercice du devis. Voir H. VÉRIN, 1987.

6. Sur les ingénieurs des Ponts et Chaussées, voir J. PETOT, 1958 ; PICON, A., 1992 ; GRABER, F., 2004.

Dans tous les cas de figure, la mesure est réalisée en divisant la ligne du canal (ou de la route) en « stations » régulièrement espacées, repérées en général par la plantation de piquets et choisies pour que la dénivellation du terrain entre deux stations n'excède pas la hauteur des perches utilisées pour la mesure. Le nivellement consiste alors en la répétition d'une opération élémentaire : le « coup ». Pour procéder à un coup, on place le niveau, instrument qui permet d'établir l'horizontalité et de viser, à égale distance entre deux piquets (pour éviter les corrections théoriques) et on demande à un « porte-mire » de tenir une perche graduée (la mire, qui mesure 2 à 4 m) sur un piquet et d'ajuster un panneau (le « voyant », découpé en carrés blancs et noirs pour que la ligne centrale soit mieux repérable) de façon à ce qu'il coïncide avec l'horizontalité de l'instrument. Cet ajustement se fait par cris ou plus généralement par signes convenus. Le coup se termine par la lecture par le manœuvre de la position du voyant sur la mire. Pour le coup suivant, on retourne l'instrument pour viser dans la direction opposée le piquet suivant, où le porte-mire s'est transporté, et on répète la mesure. C'est ensuite l'opérateur qui se déplace avec son instrument jusqu'au milieu des deux piquets suivants, et ainsi de suite. Dans la perspective d'un calcul de terrasses, il faut aussi à chaque étape ajouter des points perpendiculairement à la ligne du canal et mesurer les distances horizontales qui séparent les différents points. Ces dernières mesures sont exécutées par des « portes-chaînes » qui déploient en les tendant des chaînes de 20 à 40 m de longueur. Selon qu'on a plus ou moins de manœuvres, ces différentes tâches peuvent être réalisées séparément ou non, et prennent alors plus ou moins de temps.

Ce qui domine les traités, au-delà de cette première description des gestes et des mouvements, c'est l'insistance sur la précision. Celle-ci s'inscrit dans un enthousiasme plus général, depuis la fin du xviii^e siècle, pour les instruments de précision, les mesures et les nombres ⁷. Les traités montrent comment on doit rechercher la précision, par quels moyens techniques, quels gestes, quels instruments. Pour leurs auteurs, tous niveleurs très expérimentés, il s'agit de guetter l'erreur jusque dans les plus petits détails, car il n'y a pas à proprement parler d'évaluation de l'importance des sources d'erreur, qui sont toutes également menaçantes ⁸.

7. Phénomène qui se manifeste par une multiplication des instruments, permettant la mesure de nouvelles quantités, ainsi que par l'apparition de nouveaux moyens de calculs. Pour différents exemples de cet enthousiasme, voir T. FRÄNGSMYR, J. L. HEILBRON & R. E. RIDER, 1990. Voir aussi N. WISE, 1995, en particulier l'introduction (pp. 3-13), où Wise cherche à dépasser l'évidence auto-justificatrice d'une précision comme moteur de progrès et à réfléchir aux valeurs qui peuvent fonder cette quête de la précision, expliquant ainsi pourquoi la précision est valorisée et par qui.

Les traités situent la précision d'abord et surtout dans le manœuvre. Car celui-ci n'a pas un rôle secondaire : c'est lui qui relève la mesure sur la mire et (s'il sait écrire) en prend note sur un brouillon. Le niveleur doit donc, lorsque le porte-mire se déplace d'une station à une autre, vérifier sur la mire que la cote qui lui a été créée est la bonne. Tous les gestes des manœuvres doivent être précisément contenus et vérifiés : la mire doit être tenue verticalement, les chaînes bien tendues quand on mesure une distance au sol, etc. Les rapports entre le niveleur et ses manœuvres doivent donc être les meilleurs, ils doivent « ne former pour ainsi dire qu'un seul être, dont le niveleur est l'âme », relation difficile à établir, qui « exige que le porte-mire soit un homme intelligent »⁹. Ces techniciens, invisibles dans la plupart des relevés et des rapports, sont ainsi traités selon la métaphore classique du membre appartenant à un corps qui le dépasse, dirigé tout entier par le mesureur légitime, qui est seul responsable de la mesure et de sa précision¹⁰. Si donc on recommande de choisir des manœuvres exercés, la qualité qu'on valorise le plus chez eux reste l'obéissance. La problématique de la domestication des gestes et du corps, problématique commune à toutes les pratiques instrumentales¹¹, surtout depuis la fin du XVIII^e siècle¹², ne concerne pas seulement le niveleur, dont le rapport à l'instrument dépasse évidemment toute description de manuel : elle est ici augmentée à la mesure d'un corps multiple, à la dimension d'une équipe. En ce sens, le nivellement est la mesure d'ingénieur par excellence, car elle exige non seulement que le niveleur maîtrise ses propres gestes, mais aussi qu'il maîtrise les autres, qu'il les dirige¹³. D'une manière qu'on retrouve fréquemment dans les discours expérimentaux depuis la fin du XVIII^e siècle, cette maîtrise générale des corps est présentée par Busson-Descars comme un effacement : les instruments sont au centre de l'activité et les corps sont conçus comme une source potentielle de dérèglement. Ils doivent être ajustés au mieux aux instruments et, idéalement, s'effacer¹⁴.

8. Attitude qu'on retrouve chez de nombreux savants de la fin du XVIII^e siècle : le Suisse Jean-André Leduc ou l'Anglais William Roy, par exemple, se faisaient les avocats de cette précision en chaque geste, plutôt que dans l'analyse des erreurs. WIDMALM, S., 1990, p. 195.

9. BUSSON-DESCARS, P., 1805, p. 190.

10. SHAPIN, S., 1994, pp. 355-407.

11. Sur le rôle du corps et des compétences corporelles dans les pratiques scientifiques, voir H. O. SIBUM, 1998.

12. LICOPPE, Ch., 1996, p. 276.

13. L'autorité est la qualité centrale pour l'ingénieur des Ponts et Chaussées : il doit savoir obéir et se faire obéir.

14. LICOPPE, Ch., 1996, pp. 270-282. Voir plus généralement, sur la présence ou l'effacement des corps dans la production des savoirs, Ch. LAWRENCE & S. SHAPIN, 1998.

Mais la précision est aussi dans l'instrument — s'en procurer un bon est dès lors essentiel. Les « ingénieurs en instruments de mathématiques », comme on appelle ces fabricants, sont une poignée, mais de nombreux commerçants proposent ce genre d'objets. Il faut surtout se méfier des contrefaçons : nombreux sont les fabricants ignorants qui se contentent de coller sur leurs mauvaises productions le nom de quelque artiste célèbre¹⁵. Il y a plusieurs types d'instruments. Les niveaux de Picard ou Huygens sont dits « à perpendicules », c'est-à-dire qu'ils utilisent le principe du fil à plomb pour rendre horizontal un axe optique (ou plus rarement une lunette qui y est attachée). Les ingénieurs, en ce début de XIX^e siècle, jugent ces niveaux absolument dépassés¹⁶. Ces instruments, en effet, lient l'horizontale et la verticale, le plus souvent d'une manière fixe, ce qui est difficile à bien faire, et surtout ce qui ne permet pas un réglage de l'instrument avant la mesure, opération que les utilisateurs jugent désormais essentielle : le calibrage signale l'instrument de précision et devient un des principaux critères de confiance dans la mesure¹⁷. Les instruments fiables ne sont plus désormais prêts à l'emploi. Ils exigent des manipulations plus ou moins subtiles, et donc une formation particulière : la mesure précise ne peut plus être faite que par un ingénieur. Car les instruments à perpendicules, désormais considérés comme douteux par les ingénieurs, sont aussi ceux des autres professionnels du nivellement, en particulier les maçons.

Les deux types d'instruments utilisés par les ingénieurs sont les niveaux d'eau et les niveaux à bulle d'air. Les premiers sont formés d'un tube recourbé à ses deux extrémités et rempli d'eau. L'opérateur regarde alors la surface de l'eau dans les deux tubes et doit les faire coïncider, obtenant ainsi l'horizontalité. L'instrument est valorisé pour sa simplicité, mais il faut prendre d'innombrables précautions pour garantir la précision : le diamètre des tubes doit être le même des deux côtés, le liquide ne doit pas s'écouler par les jointures des pièces qui composent le tuyau¹⁸, lorsqu'on fait pivoter l'appareil, il ne faut pas que le liquide déborde par l'une ou l'autre des extrémités, etc. Les niveaux à bulle d'air sont formés d'un tube d'alcool dans lequel une bulle d'air permet d'établir l'horizontalité (lorsque la bulle se trouve au milieu du

15. BUSSON-DESCARS, P., 1805, pp. 180-181. Sur les instruments scientifiques, leur production et leur commerce, voir les travaux de Jim Bennett, par exemple J.-A. BENNETT, 2002.

16. GIRARD, P.-S., 1805.

17. LICOPPE, Ch., 1996, p. 268.

18. Le tube central est souvent en fer blanc ; des tubes en verre sont adaptés à chaque extrémité.

tube), associé à une lunette de visée. Cet instrument a été perfectionné par Chézy à la fin du XVIII^e siècle et il est, sous cette forme, le plus en usage à l'époque dans les Ponts et Chaussées¹⁹. Lui aussi est l'objet d'une longue série de recommandations, en particulier sur les vérifications nécessaires, chaque matin avant de s'en servir et à plusieurs heures du jour pour tenir compte des variations de température. On vérifie essentiellement l'horizontalité de l'axe optique de la lunette, que la bulle soit bien centrée, qu'elle ne se soit pas divisée. Un vieil instrument doit même être vérifié à chaque étape de la mesure. Ces niveaux, jugés d'un maniement plus difficile, « exigent des connaissances et de l'habitude, pour pouvoir s'en servir d'une manière sûre »²⁰. Ce qui les distingue le plus, c'est leur grande fragilité : ils doivent donc être maniés avec une extrême délicatesse et protégés pendant les transports. L'idéal est d'en avoir toujours deux, car l'appareil, une fois endommagé, ne peut pas être réparé en province, faute d'artistes compétents. Cette fragilité, l'impossibilité de faire réparer ces objets délicats autrement qu'en les renvoyant à Paris, ainsi que leur coût prohibitif, expliquent la perpétuation de l'usage du niveau à eau, qui peut se construire partout et se répare facilement. Même les plus grands niveleurs ont donc souvent recours à cet instrument, qui exige, en revanche, d'opérer par petites stations²¹.

Au-delà de l'instrumentation et des gestes, la précision est aussi et surtout dans le calcul. Celui-ci n'est en rien une opération triviale. Il réunit au contraire la plupart des problèmes pratiques du théoricien : le calcul est un travail, qui implique des hommes (parfois en grand nombre) et une organisation. La précision a donc un coût, en termes d'argent et de temps²². Vu l'importance du calcul dans les nivellements, Busson-Descars insiste beaucoup sur ces opérations. Toutes les simplifications sont les bienvenues, car toute limitation des calculs permet un gain en précision : éviter les corrections théoriques est donc recommandé pour limiter la manipulation des tables. Busson-Descars propose aussi des techniques pour le report des chiffres, la tenue des cahiers et surtout la conduite des innombrables addi-

19. Le niveau de Chézy est en fait un niveau à pente, qui permet de mesurer directement des pentes, mais qui peut être utilisé, dans sa fonction la plus simple, pour des visées horizontales.

20. BUSSON-DESCARS, P., 1805, p. 186.

21. Norton Wise a identifié la mobilité comme vertu classique de la précision, très importante pour lui permettre de s'imposer (WISE, N., 1995, pp. 6-7 et 97-99). De ce point de vue, les difficultés des ingénieurs à transporter l'instrument le plus précis, ainsi que l'isolement technologique de la province, où tout accident est irréparable, limitent la capacité des ingénieurs à imposer leurs critères de précision à une échelle plus vaste.

22. Sur ces questions, voir A. WARWICK, 1995.

tions et soustractions que le nivellement entraîne : formulaires, usage du crayon ou d'encres colorées selon le degré d'avancement et de vérification.

Enfin, lorsque la mesure est faite, il faut la refaire, car :

« On nivelle toujours un terrain au moins deux fois, pour s'assurer si l'on ne s'est pas trompé, et si l'on peut compter sur la première opération que l'on a faite ». ²³

La vérification consiste à refaire la mesure à l'envers, c'est-à-dire en partant de là où l'on était arrivé, ce qu'on appelle « faire la preuve du nivellement ». Busson-Descars définit un critère de précision qui est le résultat de sa pratique : on peut considérer que l'on a bien opéré si la différence entre le nivellement et sa preuve est inférieure à environ 15 cm sur 40 km. Il s'agit bien d'une vérification : la deuxième mesure n'est pas intégrée au résultat, on ne propose pas une moyenne de plusieurs valeurs, mais la différence entre les deux mesures permet de montrer qu'on a bien fait la première. L'écart entre deux mesures doit être aussi faible que possible, Busson-Descars présentant, d'ailleurs, la limite proposée comme liée à ses propres capacités : son critère est raisonnable pour des professionnels, qui comme lui sont capables de faire mieux.

La précision apparaît donc comme située, d'une part dans une série de gestes, d'instruments et de calculs, précision qu'il est relativement difficile de rendre manifeste dans un compte rendu, d'autre part dans cette comparaison des résultats, qui offre un moyen rhétorique beaucoup plus efficace ²⁴. La vérification est une opération incontournable dans toutes les mesures, non seulement comme ici pour établir la précision de mesures qu'on fait soi-même, mais surtout pour évaluer, pour valider des mesures faites par d'autres : une mesure ne tient jamais par elle-même et la vérification est un pré-requis pour toute utilisation.

Disqualification des entrepreneurs

On retrouve ces questions de précision et de vérification des nivellements dans l'affrontement entre entrepreneurs et ingénieurs des Ponts et Chaussées à l'occasion du projet du canal de l'Ourcq : les experts d'État s'appuient alors sur la contestation des nivellements pour disqualifier les entrepreneurs et écarter leur projet.

23. BUSSON-DESCARS, P., 1805, p. 114.

24. Il faut noter cependant que les auteurs de traités ne s'accordent pas sur la définition du critère de précision. Certains, comme J.-A. FABRE, 1809, pp. 154-157, préfèrent parler d'écart « faible » ou « considérable », sans donner de valeur limite. Lorsque la vérification s'écarte trop de la première mesure, Fabre propose d'en faire une troisième et de prendre la moyenne entre les valeurs qui diffèrent le moins.

À l'origine du projet de l'Ourcq, il y a une série d'entreprises privées²⁵. En 1791, l'entrepreneur Brullée avait obtenu de l'Assemblée constituante le droit de construire un canal de l'Ourcq, mais, incapable de réunir les fonds, il avait ensuite cédé ce droit aux citoyens Solages et Bossu. Ces entrepreneurs proposent successivement plusieurs versions du projet et, revendiquant leurs droits, s'appuyant sur plusieurs rapports favorables, insistent auprès du gouvernement pour être enfin chargés de l'exécution du canal. L'administration des Ponts et Chaussées finit par faire examiner leur projet, en floréal an IX (avril 1801), et deux élèves ingénieurs-géographes sont retenus pour procéder à des nivellements de vérification²⁶.

Le rapport des élèves fait apparaître des questions que le traité de Busson-Descars n'avait pas même effleurées : il en ressort que la ligne du canal n'était pas tracée physiquement avant la mesure²⁷. Le tracé de la ligne peut s'effectuer concrètement par un tracé à la pioche ou par des piquets de nivellement. Rien de tel dans le projet des entrepreneurs : la description de leur canal repose uniquement sur une carte. Les élèves soulignent donc qu'ils ont eu quelques difficultés à repérer la ligne à étudier : ils ont tenté de retrouver dans le paysage les éléments de la description des entrepreneurs et ont souvent été égarés par « l'accroissement de certains villages et des changements dans les plantations ». Les repères des entrepreneurs semblent assez flous : le canal doit passer « au bord » de tel village ou de tel champ. Dans leur nivellement, les élèves définissent donc leurs propres stations, s'éloignant parfois plus ou moins du tracé prévu par les entrepreneurs, mais ils estiment « une plus grande rigueur inutile », puisqu'il s'agit d'abord de vérifier la possibilité du projet, donc la différence de niveau entre les deux points extrêmes.

Le fait qu'il n'y ait pas de tracé ne doit pas surprendre. Le canal traverse une multitude de propriétés et il faut obtenir l'autorisation des sous-préfectures pour faire des mesures et traverser les champs, sans parler de tracer à la pioche. Les nivellements sont des mesures qui induisent des dégradations inévitables : la traversée des champs, la plantation de piquets et les coupes en forêt (pour pouvoir viser à une certaine distance) provoquent la crainte des habitants et la colère des propriétaires. Le niveleur est

25. Sur le canal de l'Ourcq et sur les multiples dimensions de l'affaire à laquelle il donne lieu, voir F. GRABER, 2004.

26. Sur les élèves et ingénieurs géographes, voir P. BRET, 1991 ; PANSINI, V., 2002.

27. CHOPPIN & LASSERET, *Rapport de Choppin et Lasseret, élèves ingénieurs-géographes, sur le nivellement du canal de l'Ourcq depuis Claye jusqu'à Paris, 22 floréal an IX*, Manuscrit 1620 (1) de la bibliothèque de l'École nationale des Ponts et Chaussées (MENPC).

donc confronté directement à l'hostilité des populations. D'ailleurs, quand on parvient à faire un tracé physique (piquets ou piochage), les travaux agricoles l'effacent bien vite. Il semble en fait difficile de conserver un tracé jusqu'à sa vérification. Le tracé est donc une opération non seulement longue et coûteuse, mais aussi fragile, et on ne s'y résout que lorsque les projets sont déjà relativement avancés²⁸.

Dans le cas du projet Solages et Bossu, l'absence de tracé physique signale pour les Ponts et Chaussées la mauvaise qualité de la mesure : les marques assurent, en effet, qu'il y a bien eu mesure, leur absence ou leur imprécision laissent un doute. Un des reproches récurrents adressés par les ingénieurs aux projets des entrepreneurs privés concerne l'absence ou le manque de mesures, qui se traduisent par une absence de profils, de nivellements détaillés, de calculs de terrasses, éléments essentiels d'un projet dans les Ponts et Chaussées. Les ingénieurs relèvent toujours ces manquements aux formes et condamnent les projets « conçus seulement sur le vu de la carte »²⁹.

Le résultat des élèves, transmis à l'administration, contredit les affirmations des entrepreneurs, et la différence est tellement importante qu'on se décide à recommencer les mesures : les ingénieurs estiment qu'il faut tracer le canal sur toute sa longueur pour faire une mesure satisfaisante, et qu'il « n'est pas possible de se servir d'élèves pour faire un pareil ouvrage », mais qu'il faut au contraire « un homme instruit »³⁰. Dans l'incertitude, on ne fait aucune mention du résultat des élèves. La précision apparaît ici directement liée au niveleur : le résultat problématique de la mesure motive la nomination d'un ingénieur plus compétent pour obtenir un nivellement de précision. Le corps ne risque pas sa réputation sur les possibles erreurs des élèves.

Nommé en prairial an IX (juin 1801), Louis Bruyère travaille pendant un an, avec quelques géographes sous ses ordres. La durée exceptionnellement longue de cette mission s'explique d'abord par les complications liées

28. *Troisième rapport sur les travaux du canal de l'Ourcq*, MENPC, 1620 (1). On se dispense souvent des difficultés qu'entraînent les piquets (il faut les planter, ils disparaissent) en trouvant des repères fixes. Certains nivellements sont même intégralement exécutés ainsi, ce qui donne par exemple pour la description des repères : « Pierre à l'angle du mur du moulin de Mareuil près la grand vanne » (*Ordonnées du nivellement général de vérification*, MENPC, 1863).

29. *Rapport sur un projet du citoyen Prault Saint-Germain*, Séance de l'assemblée des Ponts et Chaussées du 13 vendémiaire an x, Archives Nationales (AN) F14* - 10910.

30. Lettre de Gauthey et Prony au conseiller d'État du 13 prairial an IX, in E.-M. GAUTHEY, 1803, pp. 36-37.

au tracé du canal, puis par les résultats ³¹. Le premier nivellement de Bruyère confirme le résultat des élèves. Il est immédiatement suivi d'un deuxième nivellement pour la vérification. Le corps juge alors les résultats suffisamment certains pour les communiquer à Solages et Bossu. Ceux-ci les contestent et Bruyère organise donc un dernier nivellement, contrairement avec un de leurs commis. Cette dernière mesure confirmant les résultats antérieurs scelle le sort des entrepreneurs. Sur les 68 km du tracé complet de leur canal, ces derniers annonçaient une différence de niveau de + 6,7 m, alors que les mesures répétées des ingénieurs entre les deux points indiqués établissent que la différence était en fait de - 1 m, situation qui rend l'écoulement de l'eau (et donc le projet) impossible. L'erreur des entrepreneurs était de presque 8 m, ce qui représente, sur une telle distance, plus de 30 fois l'erreur maximum selon le critère de Busson-Descars.

Cela pose le problème de la formation à la pratique du nivellement : les employés de Solages ne sont manifestement pas de bons niveleurs, ou tout au moins ne sont pas versés dans les grands nivellements nécessaires pour les canaux, ce qui devient rédhibitoire, sachant que les projets de travaux publics sont examinés par les Ponts et Chaussées. C'est un problème assez général : le traité de Busson-Descars est salué justement parce qu'on en espère une amélioration de la qualité des mesures chez des usagers qui n'auraient pas eu la même formation à la précision que les ingénieurs des Ponts et Chaussées. Ainsi, le commentateur de l'ouvrage dans le *Magasin encyclopédique* souligne :

« Comme on n'a pas toujours un ingénieur à sa disposition, un traité élémentaire du nivellement, clair, succinct, débarrassé des calculs algébriques, et mis à la portée de tout propriétaire un peu intelligent, nous paraît un service essentiel rendu à ces derniers ». ³²

Le traité est cependant d'une nature plus ambiguë : prétendant se mettre à la portée de tous, en évoquant des moyens simples et abordables, le traité de Busson-Descars se consacre surtout à un modèle de précision qui est celui des professionnels de la mesure et exige formation et habileté. Tout propriétaire ou entrepreneur peut avoir besoin de nivellements (par exemple pour dériver un ruisseau, pour irriguer ou alimenter une roue) et c'est pourquoi Busson-Descars souhaite s'adresser à un vaste public, mais pour l'ingénieur, ces

31. La mission est aussi prolongée parce que les entrepreneurs soumettent un nouveau projet (mais à partir des mêmes nivellements), en fructidor an IX (août 1801), pour lequel Bruyère recommence diverses vérifications.

32. CHARDON DE LA ROCHETTE, 1805.

mesures de particuliers ne seront jamais des mesures de précision : la précision est une « valeur », elle permet de séparer les bons niveleurs des mauvais ; un critère, comme celui de Busson-Descars, divise le monde entre les imprécis et les précis, ces derniers instituant leur pratique comme référence ³³.

Les collègues des Ponts et Chaussées de Busson-Descars ne montrent d'ailleurs pas d'enthousiasme pour la vulgarisation du nivellement ; ils considèrent les mesures des particuliers comme nécessairement douteuses. L'erreur assez considérable de la compagnie Solages et Bossu est désormais, dans tous les textes d'ingénieurs, l'occasion de réduire la crédibilité de ces entrepreneurs et de leurs mesures :

« Ce nivellement contradictoire [...] prouva donc d'une manière incontestable que les propositions faites jusqu'alors [...] étaient établies sur des données incertaines et il ne fut plus permis de compter sur l'exactitude des opérations dont on citait les résultats à l'appui des différents projets qu'on avait présentés ». ³⁴

Ce n'est pas seulement ce projet qui est décrédibilisé, c'est l'ensemble des propositions de ces entrepreneurs. Une telle dévalorisation de l'entreprise privée est très courante chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées et participe à la construction de leur identité. Ils maintiennent une frontière absolue entre l'intérieur et l'extérieur du corps : il n'y a aucune place à l'extérieur pour une discussion légitime et pour la constitution des faits, de sorte que les entrepreneurs sont condamnés à ne produire toujours que des « données incertaines ».

Il s'agit en fait d'une véritable opposition de cultures, car les entrepreneurs ne considèrent pas du tout que leur erreur doive disqualifier leur projet. Ils répondent ainsi à l'administration que quels que soient les résultats, on peut encore modifier le projet ³⁵. Pour ces entrepreneurs, la mesure de précision n'est pas indispensable : s'il y a une erreur de mesure, c'est sans gravité. Il suffit de remonter la prise d'eau, on pourra toujours faire couler l'eau. Sur ce point, ils ont tout à fait raison (c'est ni plus ni moins ce que les ingénieurs choisissent finalement de faire), mais ce qui est décisif, c'est qu'ils ne respectent pas la précision comme valeur des ingénieurs des Ponts et Chaussées, valeur par laquelle ceux-ci tracent une démarcation sociale et posent leur corps comme seul légitimé à décider de la qualité des projets. En ce sens, la précision est une technologie sociale : elle permet de définir une

33. WISE, N., 1995, pp. 3-13.

34. GIRARD, P.-S., 1803, p. 9.

35. Lettre de Solages au conseiller d'État, le 11 floréal an x, AN, F14 - 685.

identité, un ensemble de prérogatives. Solages et Bossu ont beau protester, l'opinion des ingénieurs est faite et justifie qu'ils se réapproprient le projet.

2. Le nivellement entre ingénieurs

Comparer des tracés

Les nivellements pour le canal de l'Ourcq ne sont pas seulement une occasion de démarcation vers l'extérieur, d'élimination des entrepreneurs comme incompetents ; ils alimentent aussi les désaccords à l'intérieur des Ponts et Chaussées, désaccords qui sont révélateurs des difficultés des ingénieurs avec le nivellement, et plus généralement d'une transition dans les pratiques de nivellement du XVIII^e au XIX^e siècle.

Les ingénieurs ont donc déclaré impossible le projet des entrepreneurs. Les administrateurs relèvent, par ailleurs, un problème légal³⁶ et le gouvernement décide finalement de conserver le contrôle d'un canal destiné à l'alimentation en eau de Paris, de s'approprier le projet et de confier sa réalisation au corps des Ponts et Chaussées. L'ingénieur Pierre-Simon Girard, nommé directeur des travaux pour le canal de l'Ourcq, développe alors un projet quelque peu original, qui soulève l'opposition de ses collègues. Les nivellements sont au cœur de l'un des multiples désaccords sur le projet de Girard : celui-ci a, en effet, décidé de tracer la première partie du canal, depuis la redoute de la Villette jusqu'à la forêt de Bondy, selon une série de grands alignements³⁷. L'assemblée des Ponts et Chaussées, l'organe chargé d'examiner, de discuter et d'approuver les projets d'ingénieur, s'élève contre ce tracé qui s'oppose aux règles d'économie les plus élémentaires : d'ordinaire, les ingénieurs cherchent à minimiser les travaux pour les canaux d'adduction en équilibrant les déblais et les remblais, c'est-à-dire en suivant autant que possible le relief, en trouvant un chemin en pente uniforme depuis la prise d'eau jusqu'au point d'arrivée. Girard ne conteste d'ailleurs pas que son tracé rectiligne soit plus dispendieux, mais il soutient que cet excès de dépense est faible et donc justifiable au vu de divers avantages, en particulier esthétiques. La commission chargée par l'assemblée d'examiner le projet Girard s'engage donc dans une évaluation comparée des cubes de sols remués selon différents tracés, pour montrer que cet excès de dépense sera considérable.

36. Brullée, le premier entrepreneur à avoir proposé ce canal, aurait perdu ses droits en n'engageant pas les travaux dans un délai de trois mois.

37. Girard, *Rapport à l'assemblée des Ponts et Chaussées*, 22 et 24 brumaire an XI, AN, F14 - 685.

La commission concentre ses critiques successivement sur deux points. Elle tente d'abord de chiffrer l'excédent de cubes dans la butte dite « de la Folie ». Puis, ayant échoué dans sa tentative de trouver là un excès significatif, elle se reporte sur une autre hauteur, dans les bois de Saint-Denis. En ces deux points, Girard et la commission s'opposent sur l'écart de cubes entre leurs tracés concurrents : les commissaires l'attribuent à la différence de tracé, en supposant leurs mesures irréprochables, alors que Girard met en cause ces mesures au sens large (opérations de terrain, calculs et paramètres de ces calculs) pour défendre l'idée que la différence de cubes entre les tracés est en réalité très faible. Les discussions sur les mesures consistent donc à donner du sens à des différences.

L'écart de cubes entre les deux tracés peut d'abord s'expliquer par une différence de calcul, c'est-à-dire surtout par des hypothèses différentes sur les dimensions du canal pour chaque tracé. En effet, pour évaluer les remblais et les déblais, il faut supposer une forme au canal, forme qui peut favoriser un tracé par rapport à un autre. Pour que la comparaison entre les tracés soit univoque, il faut que toutes choses soient semblables, les tracés mis à part. Ce problème peut se poser avec toutes les dimensions du canal (largeur, profondeur, inclinaison des berges)³⁸, mais dans le cas du projet de l'Ourcq, c'est surtout la pente qui est en cause : les ingénieurs ne parviennent pas à symétriser le calcul dans les deux configurations, parce qu'ils s'opposent radicalement sur le système de pente à employer³⁹. Ils cherchent bien à comparer les tracés « sans rien préjuger sur la détermination des pentes », renvoyée à un examen particulier, mais ils ne s'entendent pas sur le sens de cette formule : les commissaires souhaitent que chaque tracé soit évalué avec sa pente, alors que Girard veut comparer les deux tracés à pentes égales⁴⁰. Si cette dernière proposition est inacceptable pour ses collègues, ce n'est pas seulement parce que le calcul leur serait moins favorable : dans leur conception, la pente n'intervient pas seulement dans le calcul final des cubes selon des tracés existants, mais surtout dans l'établissement du tracé. La pente doit décider de la ligne à suivre, et donc de ce qui doit être mesuré, ce qu'un membre de l'assemblée explique de la manière suivante :

« On ne peut, sans changer l'état de la question, calculer dans l'hypothèse du fond

38. Séance du 8 nivôse an XI, AN, F14* - 10911, où Girard relève une différence d'inclinaison des berges.

39. Girard préconise une pente courbe, résultat de ses recherches théoriques sur l'écoulement des liquides ; ses collègues jugent cette nouvelle théorie incongrue et lui préfèrent la manière traditionnelle de tracer les canaux, en pente droite et uniforme.

40. Séance du 11 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

de niveau sur cette nouvelle direction, car si l'on admettait ce plan de niveau pour le fond du canal, il faudrait chercher un nouveau tracé [...] pour avoir le moins de déblais possible »⁴¹.

À chaque système de pente correspond un tracé respectant les règles de l'art : pour minimiser les cubes, il faut creuser partout à la même profondeur dans le terrain naturel, et donc suivre le relief avec une pente donnée. Dans cette conception, les calculs de déblais ne sont pas séparables de la mesure sur le terrain : on ne peut pas faire des évaluations de cubes indépendamment des mesures appropriées et les mesures sur le terrain doivent être prévues en fonction des formes du canal.

Mais l'écart de cubes entre les deux tracés n'est pas seulement une affaire de paramètres et d'hypothèses : la précision des mesures de terrain est aussi en discussion. Sur les deux points où les commissaires cherchent à montrer l'excès de déblais, Girard parvient à relever des erreurs dans les données. Dans le cas de la butte de la Folie, il entreprend de faire vérifier l'estimation par un groupe d'ingénieurs sous ses ordres, et montre ainsi l'erreur des commissaires : leurs calculs étaient fondés sur « une configuration inexacte du terrain » ; il a fait tracer, niveler et calculer la ligne proposée. Les déblais, selon ce tracé, se révèlent trois fois plus élevés qu'annoncé par la commission et la différence avec son propre tracé relativement faible⁴². En somme, les commissaires n'avaient aucune idée du terrain, leur données étaient « purement hypothétiques ».

Sans s'attarder sur ce premier échec, la commission abandonne la butte de la Folie et se reporte sur les bois de Saint-Denis, pour lesquels elle présente bientôt une nouvelle évaluation comparative. La crédibilité des commissaires est fortement entamée par la vérification de Girard : la défense des nouvelles données exige donc un certain investissement. Le sens du premier échec est recadré : l'usage de la règle de l'art, selon laquelle on doit creuser à profondeur constante en suivant le relief avec une pente donnée, prime sur la comparaison numérique entre tracés, comme moyen pour minimiser les travaux. Le rapporteur concède donc que, dans sa première tentative pour disqualifier les alignements de Girard, il n'a pas choisi le meilleur tracé, mais seulement une « ligne intermédiaire »⁴³. Or ce meilleur tracé, il suffit

41. Séance du 7 floréal an XI, AN, F14* - 10911.

42. Séance du 6 pluviôse an XI, AN, F14* - 10911. Girard note, par ailleurs, que la commission a produit plusieurs chiffres qu'il « n'entreprend pas de mettre d'accord » : pendant qu'il vérifiait, les estimations des commissaires doubleraient sur le même segment de terrain. La valeur des données est donc disqualifiée non seulement par l'écart avec les vérifications, mais encore par la « variation » dans les chiffres, signe par excellence de l'imprécision.

de « seulement vouloir [le] chercher », ou tout au moins une ligne plus « avantageuse »⁴⁴. La légitimation d'une deuxième épreuve passe par l'insinuation que Girard n'aurait pas étudié le terrain. Répondant ainsi à l'accusation selon laquelle les commissaires n'auraient qu'une idée « hypothétique » du local, le rapporteur prive Girard du bénéfice d'une meilleure connaissance, liée à sa position d'ingénieur en chef sur le terrain, en laissant entendre que son tracé est la preuve d'une étude insuffisante :

« Dans l'enfance de l'art on traçait les canaux en lignes droites, [mais] l'art prescrit actuellement d'étudier le terrain, et de trouver à sa surface les points qui y rendent les déblais moins considérables ». ⁴⁵

Le reproche est bientôt explicite : « on aurait dû étudier sur le terrain avant de tracer »⁴⁶. Les grands alignements sont des signes : ils montrent non seulement que l'ingénieur n'a pas suivi les règles, mais même qu'il a tracé son canal sans se soucier du terrain, au vu de la carte. Dès lors, les contestations de Girard sur la précision des données ne servent à rien, qu'à repousser le moment où il devra reconnaître qu'il n'a pas travaillé proprement. Toute vérification des nouvelles données avancées par les commissaires est inutile : les alignements signalent un mépris de tout principe d'économie ; quand bien même la nouvelle comparaison serait en leur défaveur, cela ne changerait rien au fait que Girard n'a pas choisi la meilleure ligne.

Il faut souligner la dimension visuelle, sur laquelle le rapporteur insiste beaucoup. Les deux points choisis par les commissaires sont des collines et les grands alignements exigeront qu'on creuse là de véritables tranchées. Si la commission concentre à chaque fois ses critiques sur une petite zone de terrain, c'est qu'elle espère que l'excès de dépense y sera particulièrement manifeste. Une comparaison sur l'ensemble du tracé aurait été très longue, mais surtout elle risquait, en plaine, de ne pas apporter une différence décisive, les excès locaux se noyant dans le total des cubes. Mais dans le choix d'un point où montrer la pertinence des règles de l'art, la visibilité a un autre avantage : on voit les collines que Girard veut couper et cette évidence visuelle convainc les ingénieurs qui doutent de la valeur des mesures et des calculs ⁴⁷.

43. Séance du 5 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

44. Séance du 4 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

45. Séance du 4 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

46. Séance du 5 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

47. Séance du 8 nivôse an XI, AN, F14* - 10911. L'effet doit, d'ailleurs, être plus efficace pour ceux qui n'ont pas vu les lieux, car les bois de Saint-Denis constituent en réalité un seuil, une hauteur impossible à contourner, plutôt qu'une colline entourée de plaines.

Les commissaires se déclarent donc opposés à toute nouvelle vérification, que Girard réclame en niant « la vérité du profil » qu'on compare au sien ⁴⁸. Il aurait pu procéder comme la première fois et conduire lui-même ces opérations, mais il n'a pas connaissance du nouveau tracé concurrent et l'assemblée lui en refuse la communication. L'avantage qu'a Girard, celui d'être sur le terrain et de pouvoir faire toutes les mesures qu'il souhaite, est en pratique limité par le temps qu'elles coûtent et par l'opposition de l'assemblée, qui souhaite limiter tout nouveau retard dans l'examen du projet. Girard doit donc la convaincre d'organiser elle-même ces vérifications : il souligne que le nivellement utilisé par les commissaires n'est pas de même précision que le sien, qu'il contient des trous, c'est-à-dire que certains points sont éloignés de plusieurs milliers de mètres, alors qu'il a, pour sa part, levé ses profils de 50 en 50 m ⁴⁹. Girard obtient finalement, non sans mal, la vérification des mesures des commissaires ; cette opération fait apparaître des erreurs dans leurs nivellements, dont le rapporteur s'explique de la manière suivante : empêché par les gardes forestiers de faire une coupe dans les bois de Saint-Denis, donc de mesurer, le niveleur avait dû contourner ces bois, et y avait supposé une dénivellation uniforme, quant le relief était en réalité beaucoup plus abrupt ⁵⁰.

Les désaccords sur les nivellements s'arrêtent à peu près là dans le cas du projet de l'Ourcq. L'avancée des travaux dans la partie concernée n'y est sans doute pas pour rien ; les ingénieurs préférèrent se concentrer sur d'autres sujets, qui concernent plutôt le projet dans son ensemble (la navigation, les jauges) et la partie supérieure du canal (les difficultés de construction dans les coteaux qui dominent la Marne). Ce différend sur les nivellements et les calculs de terrasses n'est pas seulement un petit désaccord local sur le tracé ou l'application des règles : il est révélateur d'un problème beaucoup plus général, au cœur du nivellement.

Mesurer pour tracer ou tracer pour mesurer ?

Les commissaires se présentent comme étant à la recherche d'un meilleur tracé et invoquent pour cela les règles de l'art, l'argument de principe : il doit exister un meilleur tracé que celui de Girard, l'alignement est la pire ligne possible... Mais sont-ils en mesure de présenter un meilleur

48. Séance du 5 ventôse an XI, AN, F14* - 10911.

49. Plus les cotes sont rapprochées, plus le rendu géométrique du relief est fidèle, et donc plus les calculs de terrasses sont précis. Par ailleurs, Girard reproche aux commissaires de n'utiliser qu'un nivellement préparatoire réalisé avec moins de soin.

50. GAUTHEY, E.-M., 1803, p. 11.

tracé ? Ils le soutiennent à chacune de leurs épreuves et chaque fois sont mis en difficulté. En réalité, les deux solutions qu'ils opposent à Girard apparaissent comme des pis-aller : très approximatives dans la butte de la Folie, plus précises mais incomplètes dans les bois de Saint-Denis, leurs données sont incapables de se mesurer à la précision de Girard, qui semble pourtant n'avoir rien d'exceptionnel. Il faut remarquer que les données des commissaires sont d'une nature tout à fait différente de celles de Girard. Pour leur première comparaison, ils ont recours à un plan levé par des élèves, qui contient quelques cotes. Celles-ci sont malheureusement peu nombreuses : les commissaires doivent donc déduire celles qui les intéressent par extrapolation, approximation qui ne les empêche d'ailleurs pas de défendre énergiquement leur résultat, qu'ils ont chiffré très précisément ⁵¹. Pour leur deuxième comparaison, ils utilisent le tracé proposé par Bruyère dans son rapport sur le projet des entrepreneurs. Dans les deux cas, l'évaluation de l'excès ne passe donc pas par un nouveau nivellement, mais par l'exploitation de données existantes, produites dans un autre contexte, avec d'autres objectifs ⁵². La faiblesse des commissaires tient surtout au fait qu'ils ne font pas de nouvelles mesures, qu'ils se contentent de reprendre des données disponibles, avec les problèmes que cela implique — manque de pertinence et de qualité. Il faut d'ailleurs noter qu'ils ont épuisé ces ressources : après le plan coté par les élèves et le nivellement de Bruyère, ils ne disposent plus d'autres nivellements à proposer en alternative. La difficulté principale semble donc être la recherche d'une solution qu'on puisse opposer à Girard, et les commissaires n'ont de ce point de vue que très peu de moyens. Pourquoi manque-t-on à ce point de données ?

En nivôse an XIII (janvier 1805), Girard publie un mémoire où il propose des moyens pour réaliser un « nivellement général de la France ». Cette proposition semble directement issue de la dispute à l'assemblée sur la question des déblais, et elle est très éclairante sur les difficultés du tracé. L'idée du nivellement général est de produire des cartes sur lesquelles figureraient des lignes de niveaux : ces cartes donneraient prise aux méthodes de la géométrie pour résoudre des problèmes dans la construction des routes et des canaux ; elles permettraient aussi de « mettre à l'usage de tout le monde une foule de nivellements et d'observations [...] dont les résultats vont s'ensevelir dans les cartons de l'administration » ⁵³. Les mesures sont

51. Séance du 8 nivôse an XI, AN, F14* - 10911.

52. Le nivellement de Bruyère concerne un projet proposé par celui-ci pour dériver la Beuvronne, et non l'Ourcq.

toujours prises ponctuellement lors de la réalisation d'un projet et le sort de tout nouveau nivellement est de disparaître dans les archives. En l'absence de telles cartes topographiques de précision suffisante, comment l'ingénieur procède-t-il pour déterminer le tracé selon lequel il fera faire son nivellement ? Girard évoque cette difficulté, qui fut évitée dans le cas du tracé des canaux dans Paris en 1809 :

« Assez souvent les projets sont étudiés par des tracés sur les lieux. Cette méthode est pénible et donne inutilement de l'inquiétude aux propriétaires, si le tracé, après avoir passé chez eux, reçoit une nouvelle direction. Il parut préférable pour l'étude du canal dans Paris, de déterminer le relief du terrain par des plans et des nivellements bien exacts, et de tracer le projet dans le cabinet. Ce procédé n'a point les inconvénients ci-dessus, et il présente l'avantage de voir l'ensemble du terrain d'un seul coup d'œil et de donner une grande facilité d'étudier toutes les directions qui paraissent convenables. Il met les personnes chargées d'examiner le projet, à portée de reconnaître non seulement que le projet est possible mais encore que de tous les partis à prendre, c'est le préférable ». ⁵⁴

Girard a donc fait faire dans Paris exactement ce qu'il proposait dans son *Mémoire sur le nivellement général de la France* pour l'ensemble du territoire national. La solution idéale au problème du tracé est d'avoir un nivellement général : il permet d'écarter un social qui perturbe, mais surtout, en dominant l'ensemble du terrain d'un coup d'œil, il permet de montrer non seulement qu'une ligne est possible, mais qu'elle est la meilleure. La carte réunit virtuellement tous les tracés imaginables et permet donc au moins de prétendre les avoir étudiés et comparés, pour ne finalement retenir que le meilleur. Le projet conçu « au vu de la carte » devient un idéal de méthode, lorsqu'on dispose d'un nivellement général ⁵⁵.

Mais justement, pour le canal de l'Ourcq il n'y a pas de nivellement général et, pour des raisons de temps et de coût, il ne peut être question d'en établir un. Le projet du canal n'a donc pas été conçu dans le cabinet, mais a été « étudié par des tracés sur les lieux ». La principale différence avec la situation idéale décrite par Girard, pour le canal dans Paris, est que l'ingénieur ne dispose pas (ou presque) de mesures antérieures au tracé, et que la mesure (et les calculs de terrasses) ne peut donc précéder et décider du tracé. Comme il ne peut pas niveler l'ensemble du territoire pour disposer d'une carte, l'ingénieur doit décider de son tracé sur le terrain. C'est là qu'il

53. GIRARD, P.-S., an XIII.

54. GIRARD, 1809.

55. Le tracé du canal dans Paris est, d'ailleurs, l'occasion de développer ou d'utiliser de nouvelles techniques cartographiques. Voir J. KONVITZ, 1987, pp. 100-101 et figure 4.

acquiert sa connaissance du relief. La carte n'est pas absente, elle conserve un rôle de synthèse du territoire, mais elle n'est qu'un repère, et non un instrument de mesure. Comment l'ingénieur procède-t-il à ce tracé ? Selon les règles de l'art, il suit le relief. Comme le dit un membre de l'assemblée, le paramètre principal de l'ingénieur pour ce tracé, c'est la pente : lorsque la pente est fixée, l'ingénieur parcourt le terrain à la recherche d'une ligne de pente égale⁵⁶. Le fait que le niveau en usage chez ces ingénieurs soit un niveau à pente, permettant de mesurer directement des pentes, n'est sans doute pas indifférent : le tracé de la ligne du canal est une opération où l'on impose un paramètre prédéterminé (la pente) au relief⁵⁷. C'est aussi une mesure, mais d'un genre atypique : au lieu de faire un relevé du terrain, on cherche à lui dicter une certaine uniformité.

Cette méthode de tracé prive les ingénieurs du principal « avantage » évoqué par Girard à propos du nivellement général. La carte permet, au moins en théorie, des comparaisons multiples, dans lesquelles le tracé retenu résulterait d'une sélection mathématique et serait donc indiscutablement le meilleur (en termes de terrasses tout au moins). Le tracé traditionnel, au contraire, ne résulte pas d'une comparaison de mesures, mais consiste à dérouler une pente — ce qui ne veut pas dire que l'ingénieur ne puisse pas, sur le terrain, préférer certaines directions à d'autres. Il est donc plus difficile de montrer que le tracé choisi par cette méthode est (ou non) le meilleur.

En réalité, le problème ne se pose presque jamais. Si un ingénieur a procédé selon les règles de l'art, son tracé a toutes les raisons d'être satisfaisant : la méthode de tracé-mesure contient en elle-même un principe d'optimisation des cubes communément accepté par les ingénieurs. Mais la raison pour laquelle les ingénieurs des Ponts et Chaussées ne se lancent pas en général, en ce début de XIX^e siècle, dans des comparaisons de tracés est essentiellement sociale : l'activité de projet dans le corps est organisée autour d'un ingénieur concepteur, qui a une sorte de droit à l'initiative sur le projet et qui conduit (avec une série d'assistants mais sans intervention de ses collègues) les opérations de terrain et la rédaction du projet ; c'est sous une forme complète, prête à être exécutée, que les projets sont soumis à

56. Pour cet usage, voir aussi J.-A. FABRE, 1809, p. 163, pour lequel la question du tracé se réduit à « trouver sur la surface de la terre autant de points qu'on voudra tels [...] que le fond de la tranchée ait une pente déterminée ».

57. Comme on peut concevoir plusieurs manières de distribuer la pente, le tracé est aussi en partie choisi à l'œil. Sur l'importance des reconnaissances « à vue » chez les ingénieurs géographes, voir V. PANSINI, 2002.

l'examen de l'assemblée, qui s'assure essentiellement de ce que l'ingénieur en charge a procédé conformément aux règles de l'art. En général, on ne compare pas les tracés, parce qu'il n'y en a qu'un seul. Lorsqu'il y a des contestations, on ne critique pas la ligne pour elle-même, mais la manière dont l'ingénieur l'a tracée, sa conformité à des règles acceptées. À partir du moment où Girard remet en cause ces règles, où il affirme que son tracé, bien qu'inhabituel, ne produira pas (beaucoup) plus de déblais qu'un tracé orthodoxe, il ne reste plus qu'à comparer, qu'à faire des calculs de terrasses, pour lesquels les ingénieurs sont manifestement dans une position d'infériorité : pour faire mieux que Girard, ou pour faire conformément aux règles de l'art, il faudrait nommer un autre ingénieur qui tracerait une nouvelle ligne conformément à une pente choisie, ce qui reviendrait à empiéter sur le droit à l'initiative de Girard en tant qu'ingénieur en charge du projet (donc à commettre une injustice manifeste) — et serait d'ailleurs ruineux. C'est pourquoi les commissaires ne peuvent pas faire de mesures nouvelles et profitent de l'aubaine que constitue le fait de disposer d'un plan coté d'abord, d'un tracé de Bruyère ensuite. Ce déficit d'information, qu'on ne peut combler sans une nouvelle initiative, explique aussi l'importance de la dimension visuelle dans ces débats : les « reconnaissances », les visites pour examiner le terrain, sont très nombreuses parce qu'elles permettent aux ingénieurs d'acquérir une connaissance concurrente sur le relief, pour appuyer leurs doutes.

*

Le nivellement apparaît donc comme un type de mesure assez particulier : c'est une mesure pour l'action, une mesure pour choisir un tracé, où l'intentionnalité est par conséquent centrale. Il est pris dans une tension entre mesure et tracé : pour mesurer au sens strict (donner une valeur à quelque chose qui existe dans la nature), il faut que le niveleur choisisse la ligne, ou les points, à mesurer ; il faut donc qu'il ait choisi son tracé avant de mesurer, alors que précisément, la mesure est censée définir ce tracé⁵⁸. Cette tension est résolue en pratique de deux manières différentes. Traditionnellement, les ingénieurs identifient visuellement sur le terrain les zones où l'on pourrait dérouler une pente constante, puis déterminent le tracé avec un niveau à pente, qui applique précisément une pente donnée au terrain. Dans ce type de nivellement particulier, il ne s'agit pas de mesurer un objet préalablement fixé, mais de déterminer quel point correspond à une

58. Ce type de difficulté est en réalité typique de nombreuses mesures pour l'action. Pour un autre exemple, voir F. GRABER, 2004, pp. 425-465.

grandeur donnée, la pente uniforme, qui fonctionne comme un principe optimisateur. Par la suite, on procède à un nivellement de détail pour établir le relief à proximité de la ligne choisie pour le canal, calculer les déblais induits et établir le devis. Mais cette mesure au sens strict (la ligne à mesurer est fixée) a une fonction comptable et de contrôle des opérations ultérieures sur le terrain : elle ne sert pas à choisir le tracé.

Girard propose une nouvelle manière de procéder, tout au moins dans le cas du canal dans Paris : pour séparer la mesure du tracé, on peut mesurer tout l'espace concerné (avec un espacement des stations donné) et produire une carte à partir de laquelle on puisse choisir le meilleur tracé. Cette proposition s'inscrit dans une mutation des pratiques décisionnelles des ingénieurs, avec l'introduction d'alternatives et de comparaisons, de plus en plus en fréquentes dans les projets au XIX^e siècle.

L'idée d'une mesure globale des hauteurs qui permette de déplacer l'activité de décision du terrain vers le cabinet, où l'on soumet une carte à des manipulations mathématiques, n'est pas isolée. Les ingénieurs du corps du Génie ont (au moins en partie) opéré une mutation du même ordre dans leur pratique du « défilement » des places fortes, c'est-à-dire de la disposition des fortifications pour être à l'abri des canons ennemis. Jusqu'au milieu du XVIII^e siècle, cette question était résolue sur le terrain par l'application d'une méthode empirique. À partir des années 1760, on commence à enseigner à l'*École du Génie* de Mézières des méthodes de défilement en cabinet : on produit des plans cotés du terrain auxquels les ingénieurs peuvent appliquer des procédés géométriques ⁵⁹.

Ce mouvement du terrain vers le cabinet est lié à la possibilité de produire des cartes « numériques », des cartes sur lesquelles le relief figure de manière quantitative. Celles-ci apparaissent de manière très dispersée, d'abord en hydrographie, où les cartes marines représentent depuis le XVI^e siècle des sondes ponctuelles près des côtes, qui ne sont reliées en courbes de niveau qu'au XVIII^e siècle ⁶⁰. Cette technique est transposée au relief terrestre par Marcelin du Carla dans les années 1760. On la trouve appliquée ponctuellement dans des méthodes de défilement à partir de 1777 chez les ingénieurs militaires et à l'échelle de la France dans les années 1790 dans deux cartes du géographe Dupain-Triel ⁶¹. À partir des années

59. Sur l'évolution des méthodes de défilement, voir B. BELHOSTE, 1992.

60. Luigi de Marsigli en 1725, Nicolas Cruquius en 1729, Philippe Buache en 1737. Voir F. DE DAINVILLE, 1970.

1760, les ingénieurs militaires s'étaient engagés dans la réalisation de plans cotés des places fortes.

Dès ces premières tentatives pour saisir quantitativement le relief, on peut identifier deux entreprises assez différentes. Il y a d'une part la production de plans topographiques locaux, comme les plans des places fortes réalisés par les ingénieurs militaires et comme le plan nivelé de Paris dans le cadre du projet de l'Ourcq (1809), première tentative du genre dans les Ponts et Chaussées. Il y a d'autre part un rêve plus global, celui du nivellement général de la France, programme que du Carla est le premier à proposer, qu'on retrouve chez Girard en 1805 et par la suite chez de très nombreux auteurs au XIX^e siècle. Ce qui rend cette seconde entreprise plus problématique, ce qui fait qu'elle reste longtemps un rêve, c'est précisément le rapport entre l'échelle de la carte et la précision des mesures. Le nivellement, tel qu'il est pratiqué dans les Ponts et Chaussées pour évaluer des cubes, est une opération de détail (il faut niveler des points rapprochés) et de grande précision⁶². Il est très coûteux (en termes de temps comme de personnel), donc difficile à conduire à une échelle nationale. Il faut donc attendre le Second Empire pour voir se réaliser le premier nivellement général de la France utilisable pour les travaux publics⁶³. Il fut suivi d'entreprises semblables en France et dans toute l'Europe⁶⁴.

Sources imprimées

BUSSON-DESCARS, Pierre, *Essai sur le nivellement*, Paris, Delance, 1805, 218 p.

CARLA, Marcelin, du, *Expression des nivellements ou méthode nouvelle pour marquer rigoureusement sur les cartes terrestres et marines les hauteurs et les configurations du terrain*, Dupain-Triel (éd.), Paris, Cellot, 1782, 111 p.

61. CARLA, M., du, 1782. Du Carla a présenté sa méthode des lignes de niveau à l'Académie des sciences de Paris en 1771, mais semble l'avoir développée quelques années plus tôt, manifestement en travaillant avec de Fourny, auquel Lavoisier donne d'ailleurs la paternité du principe (LAVOISIER, A. L., 1868, p. 643).

62. Pour faire sentir le problème, il suffit d'imaginer qu'une variation d'un centimètre sur une longueur d'un kilomètre, pour un canal de 10 m de large, induit une différence de 1 000 m³.

63. Il faut noter qu'avec la formule barométrique de Laplace, l'utilisation du baromètre pour des mesures de niveau (l'hypsométrie) se stabilise dans les années 1800, et nombreux sont les auteurs à proposer des nivellements généraux au baromètre. Mais l'imprécision de cette méthode (quelques mètres) la rendait inutilisable pour les travaux publics. FELDMAN, T. S., 1985.

64. LEVALLOIS, J.-J., 1988, pp. 122-123.

- CHARDON DE LA ROCHETTE, « Extrait du *Magasin Encyclopédique* », in Pierre BUSSON-DESCARS, *Essai sur le nivellement*, Paris, Delance, 1805 (non paginé). FABRE, Jean Antoine, *Traité complet sur la théorie et la pratique du nivellement*, Draguignan, Fabre, 1809, 368 p.
- GAUTHEY, Emiland-Marie, *Lettre au Préfet du département de la Seine au sujet des travaux de la dérivation du canal de l'Ourcq*, Paris, Perronneau, 1803, 44 p.
- GIRARD, Pierre-Simon, *Rapport à l'assemblée des Ponts et Chaussées sur le projet général du canal de l'Ourcq*, Paris, Imprimerie de la République, 1803, 72 p.
- , « Extrait du *Moniteur Universel* du 30 décembre 1805 (n° 99) », in P. BUSSON-DESCARS, *Essai sur le nivellement*, Paris, Delance, 1805 (non paginé).
- , « Mémoire sur le nivellement général de la France, et des moyens de l'exécuter », *Journal des Mines*, nivôse an XIII, n° 100, pp. 297-307.
- , *Notice sur les principaux objets dont s'est occupé l'ingénieur ordinaire de seconde classe Égault, pendant l'année 1809*, AN, F14 - 2221².
- LAVOISIER, Antoine Laurent, « Rapport sur les travaux du citoyen Dupain-Triel », in *Œuvres de Lavoisier*, Paris, Imprimerie impériale, tome 4, 1868, pp. 640-648.
- LESPINASSE, Augustin, de, *Traité sur la théorie et la pratique du nivellement*, Paris, Didot, 1804, 34 p.
- PERRAULT, Charles, *Mémoires de ma vie*, Paul Bonnefon (éd.), Paris, Laurens, 1909, 251 p.
- PICARD, Jean, *Traité de nivellement*, La Hire (éd.), Paris, Michallet, 1684, 250 p.
- , « Traité de nivellement », *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, tome 6, 1730, pp. 631-707.
- PUISSANT, Louis, *Traité de topographie, d'arpentage et de nivellement*, Paris, Courcier, 1807, 318 p.

Bibliographie

- BELHOSTE, Bruno, « Les problèmes de défilement », in Jean DHOMBRES (éd.), *L'école normale de l'an III. Leçons de mathématiques, Laplace, Lagrange, Monge*, Paris, Dunod, 1992, pp. 541-546.
- BENNETT, James A., *The Divided Circle. A History of Instruments for Astronomy, Navigation and Surveying*, Oxford, Phaidon and Christie's, 1987, 224 p.
- , « Shopping for Instruments in Paris and London », in Pamela H. SMITH & Paula FINDLEN (eds.), *Merchants and Marvels. Commerce, Science and Art in Early Modern Europe*, New York-Londres, Routledge, 2002, pp. 370-395.
- BRET, Patrice, « Le Dépôt général de la Guerre et la formation des ingénieurs-géographes militaires en France, 1789-1830 », *Annals of Science*, 1991, n° 48, pp. 113-157.
- DAINVILLE, François, de, « From the Depth to the Heights. Concerning the Marine Origins of the Cartographic Expression of Relief by Numbers and Contour Lines », *Surveying and Mapping*, vol. 30, 1970, pp. 389-403.
- FELDMAN, Theodore S., « Applied Mathematics and the Quantification of Experimental Physics: The Example of Barometric Hypsometry », *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, vol. 15, 1985, pp. 127-197.
- FRÄNGSMYR, Tore, HEILBRON, John L. & RIDER, Robin E. (eds.), *The Quantifying Spirit in the 18th Century*, Berkeley, University of California Press, 1990, 411 p.
- GRABER, Frédéric, *La délibération technique. Disputes d'ingénieurs des Ponts et*

- Chaussées sous le Consulat. L'affaire du canal de l'Ourcq*, thèse de doctorat d'histoire, EHESS, dir. Dominique Pestre, 2004, 636 p.
- KONVITZ, Josef, *Cartography in France, 1660-1848. Science, Engineering and Statecraft*, Chicago-Londres, The University of Chicago Press, 1987, 194 p.
- LAWRENCE, Christopher & SHAPIN, Steven (eds.), *Science Incarnate. Historical Embodiments of Natural Knowledge*, Chicago-Londres, The University of Chicago Press, 1998, 350 p.
- LEVALLOIS, Jean-Jacques, *Mesurer la terre. 300 ans de géodésie française*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 1988, 392 p.
- LICOPPE, Christian, *La formation de la pratique scientifique*, Paris, La Découverte, 1996, 346 p.
- MINOW, Helmut, « Nivellementinstrument », in Ingrid KRETSCHMER, Johannes DÖRFLINGER & Franz WAWRIK (eds.), *Lexikon zur Geschichte der Kartographie*, Vienne, Deuticke, vol. C2, 1986, pp. 533-534.
- PANSINI, Valeria, *L'œil du topographe et la science de la guerre. Travail scientifique et perception militaire (1760-1820)*, thèse de doctorat d'histoire, EHESS, dir. Jacques Revel, 2002, 434 p.
- PETOT, Jean, *Histoire de l'administration des Ponts et Chaussées, 1599-1815*, Paris, Librairie Marcel Rivière, 1958, 523 p.
- PICON Antoine, *L'invention de l'ingénieur moderne. L'école des Ponts et Chaussées, 1747-1851*, Paris, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 1992, 768 p.
- SHAPIN, Steven, *A Social History of Truth*, Chicago, The University of Chicago Press, 1994, 512 p.
- SIBUM, Heinz Otto, « Les gestes de la mesure. Joule, les pratiques de la brasserie et la science », *Annales, Histoire, Sciences Sociales*, n° 4-5, juillet-octobre 1998, pp. 745-774.
- VÉRIN, Hélène, « Un « document technographique » : le devis. Marine royale et fortifications aux XVII^e et XVIII^e siècles », *Techniques et Culture*, n° 9, 1987, pp. 141-167.
- WIDMARM, Sven, « Accuracy, Rhetoric and Technology: The Paris-Greenwich Triangulation, 1744-88 », in Tore FRÄNGSMYR, John L. HEILBRON et Robin E. RIDER (eds.), *The Quantifying Spirit in the 18th Century*, Berkeley, University of California Press, 1990, pp. 179-206.
- WISE, Norton (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 1995, 380 p.
- WARWICK, Andrew, « The Laboratory of Theory, or What's Exact about the Exact Sciences? », in Norton WISE (ed.), *The Values of Precision*, Princeton, Princeton University Press, 1995, pp. 311-351.
- WESS, Jane, « Level », in Robert BUD & Deborah Jean WARNER (eds.), *Instruments of Science. A Historical Encyclopedia*, London, Science Museum & Smithsonian Institution, 1998, pp. 531-533.