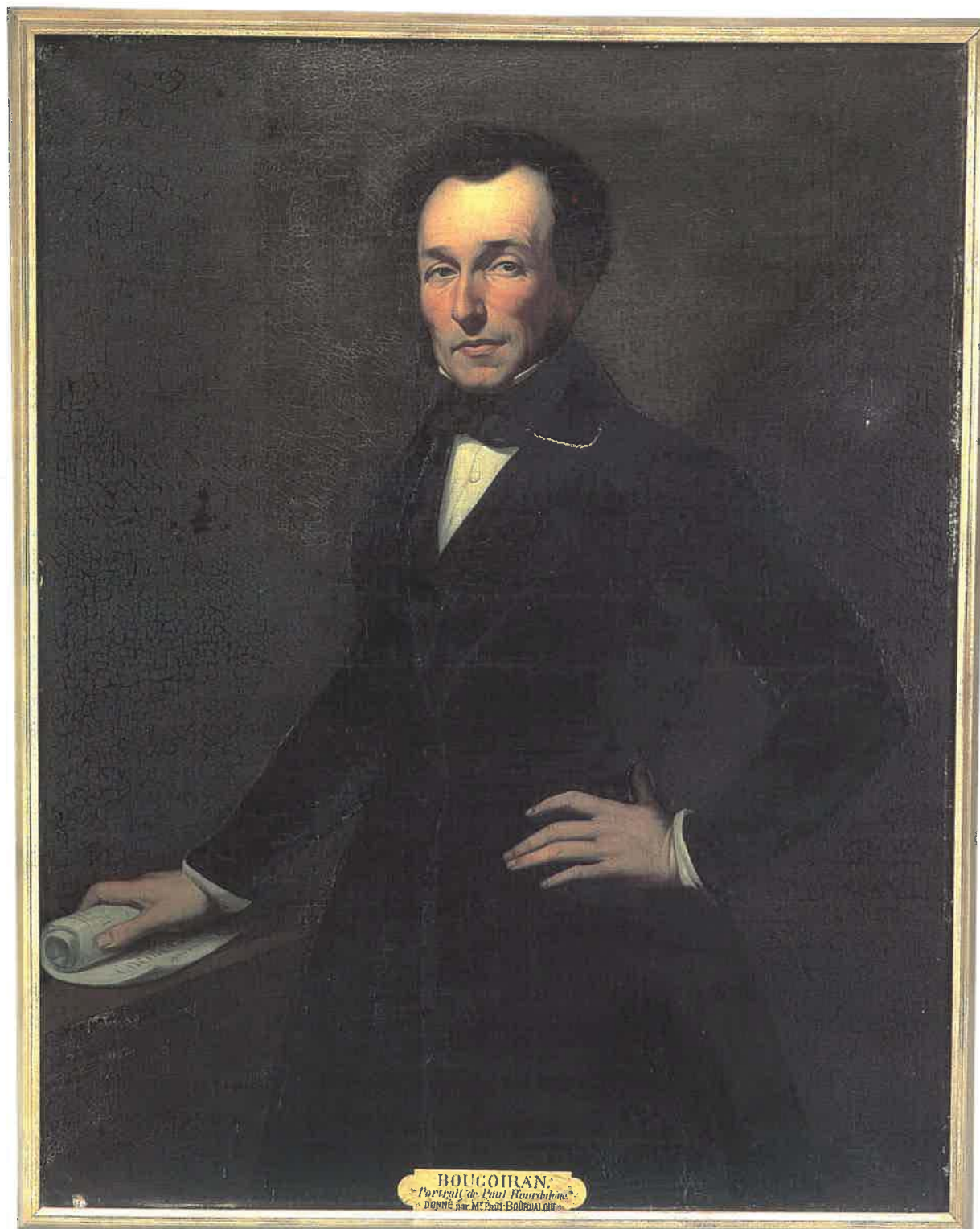


PAUL - ADRIEN BOURDALOUË

*Par Robert Vincent
Président honoraire de l'AFT*



*Au dos : portrait en buste
de Paul-Adrien Bourdalouë,
peint par Boucoiran
(Collection particulière) ;
photographie de Zoom Studio.
Bourges*



Paul-Adrien BOURDALOUË (1798 - 1868)

par Robert VINCENT
Président honoraire de l'Association Française de Topographie

Paul-Adrien BOURDALOUË est né le 15 nivose de l'an VI, soit le 4 janvier 1798 à Bourges, section d'Auron, au pied de la cathédrale Saint-Étienne édifiée au point culminant de la ville, au 13^e siècle et dont on vient de célébrer le huitième centenaire, aujourd'hui classée au patrimoine mondial de l'humanité. Elle est bien en effet, l'une des plus belles de France avec sa quintuple nef ouvrant par cinq portails sur une façade occidentale magnifique.

Construite sur l'emplacement de l'antique Avaricum, Bourges connut son apogée lorsque Charles VII « le roi de Bourges » en fit au milieu du 15^e siècle, un centre économique et culturel important. Son fils Louis XI, né à Bourges en 1423, y fonda une célèbre université en 1463.

Plus modestement, les topographes d'aujourd'hui retiennent qu'un enfant du pays, Paul-Adrien Bourdalouë, parvint à la célébrité au 19^e siècle, pour avoir exécuté des travaux exemplaires de nivellement.

L'environnement familial

Son père, Jean-Joseph Bourdalouë, né à Bourges et baptisé le 1^{er} mars 1768, est le troisième des onze enfants de Nicolas Bourdalouë, marchand tanneur et corroyeur. Il se marie à Bourges le 7 frimaire an II (27 novembre 1793), avec Marie-Catherine-Adélaïde BOUTIN, fille de Jean BOUTIN, alors secrétaire-greffier au Tribunal criminel, et plus tard receveur de l'Enregistrement. Il est alors professeur de langue latine au collège de Bourges et de 1796 à 1800, il est professeur d'Histoire naturelle à l'École centrale du département du Cher à Bourges - établissement public pour le second degré d'instruction, institué à la Révolution dans chaque département - et qui devint plus tard le lycée.

Il fonde en l'an XII (1803-1804) un établissement particulier d'instruction, en son domicile, rue d'Auron n° 85. Il y enseigne les principes de : grammaire générale, langues latine et française, orthographe, premiers éléments de mathématiques, calcul décimal, géographie et histoire, éléments de botanique et de minéralogie, religion. L'établissement reçoit des pensionnaires, des demi-pensionnaires et des externes. Son épouse prodigue aux pensionnaires les mêmes soins, les mêmes attentions que pour ses propres enfants dit une notice sur l'établissement. En 1814, il est professeur au lycée de Bourges, plus tard collège royal.

Six enfants, tous nés à Bourges, sont issus de ce couple :

1 : Catherine-Émilie, née en 1795 (pas d'acte retrouvé), décédée sans alliance à Bourges le 14 juin 1858 ;

2 : Marie-Éléonore, née le 13 brumaire an V (3 novembre 1796), mariée à Bourges le 11 octobre 1824 avec Ferdinand ARNAUD, négociant né et demeurant à Nantes ;

3 : Paul-Adrien, dont nous allons relater la carrière ;

4 : Françoise-Adrienne, née le 7 ventose an VII (25 février 1799), décédée sans alliance à Bourges le 26 avril 1876 ;

5 : Paul-Joseph, né le 13 prairial an VIII (2 juin 1800), devient horloger, rue des Armuriers à Bourges, y épouse le 3 juin 1826 Marie-Anne CISSOIGNE et y meurt le 22 février 1864 ; ils eurent plusieurs enfants dont un seul garçon, Eugène Armand, né à Bourges le 26 avril 1830 ;

6 : François Jules, né le 14 novembre 1814, est Receveur de l'Enregistrement et des Domaines de Seignelay (Yonne) quand il épouse à Courson (Yonne) le 12 janvier 1842 Victorine Antoinette Léopoldine REGNAULDIN, dont il aura 3 filles. L'aînée, Camille-Berthe Bourdalouë, née à Courson le 4 juin 1843, se marie le 23 août 1860 à Paris, en l'église Saint-Paul - Saint-Louis. Nous y reviendrons.

Jean-Joseph Bourdalouë meurt à Bourges à 57 ans, le 31 juillet 1825. Il est alors membre de l'Académie de Bourges. Son épouse lui survivra jusqu'au 18 mars 1858.

Dans un tel environnement familial, le jeune Paul-Adrien a ainsi toute facilité pour faire de bonnes études.

En tant que simple aspirant-conducteur des Ponts-et-Chaussées, il est attaché en Août 1817 - il a 19 ans et demi - au Service du Canal du Berry.

Le Canal du Berry

Le réseau français des voies navigables est alors en plein essor - on ne soupçonne pas encore le futur développement du Chemin de fer - et chaque ville importante se doit d'être accessible par la voie d'eau.

C'est ainsi que pour desservir Bourges, qui se trouve à l'écart d'une grande rivière comme le Cher, le Canal du Berry est mis en chantier en 1811. Partant de Saint-Aignan-sur-Cher, il suit d'abord, en la remontant, la vallée du Cher, sur sa rive droite, sur 50 kilomètres environ jusqu'à Vierzon, puis emprunte sur 30 kilomètres la vallée de l'Yèvre sur sa rive gauche jusqu'à Bourges et celle de l'Auron sur 50 kilomètres par Dun-le-Roi, jusqu'à Bannegon où il atteint son sommet au bief de partage de la Fontblisse, et enfin par Sancoins et la vallée de l'Aubois, rejoint, après un parcours de 50 kilomètres, le Canal latéral à la Loire. Il permet aux

péniches d'aller de Nevers jusqu'en aval de Tours en évitant le cours même de la Loire et met aussi en connexion toute la région berrichonne avec le réseau des grands canaux qui assure la communication, par le Canal de Briare avec le bassin de la Seine, et par le Canal du centre de Digoin à Chalon, avec la Saône. De la Fontblisse, une deuxième branche du canal va retrouver la vallée du Cher à Saint-Amand - Mont Rond par une jonction de 20 kilomètres, traverse la rivière par un pont-canal, puis en remonte la vallée sur 45 kilomètres par la rive gauche, jusqu'à son terme Montluçon.

Le Canal du Berry, long de 250 kilomètres, avec 114 écluses et bien que de petit gabarit, dessert ainsi Bourges, préfecture du département du Cher, Saint-Amand, sous-préfecture, et Vierzon important chef-lieu de canton (aujourd'hui sous-préfecture), ainsi que Montluçon, sous-préfecture de l'Allier. Il doit favoriser le développement régional et son trafic annuel va atteindre 300 000 tonnes. Il passe aussi à proximité des mines de fer de Dun-le-Roi et de la magnifique forêt de Tronçais que Colbert avait fait planter de chênes quelque 150 ans auparavant, et va ainsi permettre de transporter directement par la voie d'eau leurs fûts remarquablement longs et rectilignes, jusqu'aux chantiers navals de Nantes.



Figure 1 : Carte du Berry avec le canal du Berry, la forêt de Tronçais,

Bourdalouë y est plus particulièrement chargé en 1818, de la construction des ponts sur le Cher de Magnette et de Vallon, à quinze et vingt-cinq kilomètres en aval de Montluçon, ainsi que des écluses voisines de Clavières et de la Métairie basse, puis de 1819 à 1821, de l'étude des terrains de la dérivation du Canal par les vallées de l'Yèvre et de l'Auron, et enfin en 1821 et 1822, des travaux de terrassement de la partie reliant Bourges à Vierzon.

Le canal est inauguré en 1822 pour la branche de Montluçon et en 1841 pour celle de Sancoins. Il restera en service jusqu'en 1955, date à laquelle, en raison d'un trafic devenu insuffisant, il sera déclassé.

De tous ces chantiers, Bourdalouë retient la nécessité de nivellements précis exécutés au niveau à lunette muni d'une nivelle à bulle d'air, instrument récent à l'époque, dont il acquiert la pratique et sans doute le goût. Il se convainc surtout de l'intérêt qu'il y aurait d'avoir un réseau de repères d'altitude, connus dans un système homogène et sur une certaine étendue. A n'en pas douter, ces premiers travaux de jeunesse déterminèrent sa vocation.

Paul-Adrien Bourdalouë épouse alors à Bourges, le 6 mai 1822, Marguerite Adélaïde Élisabeth MARTIN, née à Châtillon-sur-Indre, le 9 juillet 1799. Elle est la fille de Pierre François MARTIN, entrepreneur « des chauffages et convois militaires » à Bourges, et elle abrège d'ordinaire ses trois prénoms en Éliza. Ils n'eurent pas de postérité et cela explique certainement un aspect de leur vie.

Premier séjour hors du pays natal, à 24 ans

Sitôt marié, le jeune couple quitte Bourges. En effet, de Mai 1822 à 1825, Paul-Adrien Bourdalouë se trouve affecté comme aspirant-conducteur de travaux au service du département de la Drôme, plus spécialement chargé de la navigation sur le Rhône et sur l'Isère. Il construit le pont à sept arches sur l'Isère à La Roche-de-Glun, pour la route royale numéro 7 de Paris à Antibes.

Deux arches du pont ont été détruites lors des combats de 1944 puis réparées. Aujourd'hui, le pont est désaffecté et interdit à toute circulation. Il est remplacé par un pont moderne sur la commune voisine de Pont-de-l'Isère où la route nationale prend le nom d'avenue du 45^e parallèle, débouchant sur le pont par un monument marquant le passage de la ligne et que les touristes connaissent bien pour indiquer côté Nord : « Dauphiné - 45^e degré de latitude Nord - Ici commence le Midi ».

Le premier retour au pays

En 1825, Bourdalouë revient au pays pour l'étude de toutes les routes royales et départementales du Sud du département du Cher.

Il exécute de nombreux nivellements et travaux d'assèchement des marais d'Yèvre près de Bourges et de l'Auron près de Dun-le-Roi, plus au Sud.

A la fin du rigoureux hiver 1829-1830, lors de la débâcle des glaces, ses services sont requis pour la défense du pont sur le Cher, à Saint-Amand.

La pratique de tous les nivellements amène Bourdalouë à se pencher sur les méthodes et les instruments. Il utilise un niveau conçu par Pierre Marie Thomas ÉGAULT DES NOÉS (1777-1839), de 20 ans son aîné, Ingénieur des Ponts et Chaussées. Égault avait créé en 1806 un *niveau à nivelle fixe*, et institué, pour éliminer toutes les erreurs de réglage de son niveau, la *méthode du double retournement*. Bourdalouë ponctuera toute sa carrière d'innovations capitales.



Figure 2 : Le pont sur l'Isère à La Roche-de-Glun, construit par Bourdalouë.

Situé juste avant le confluent avec le Rhône, le niveau de l'Isère est aujourd'hui artificiellement maintenu élevé par la retenue de la chute de Bourg-lès-Valence aménagée par la Compagnie Nationale du Rhône.

Les premiers nivellements de précision

En 1830, Bourdalouë quitte à nouveau son pays natal, pour le département du Gard cette fois. Il est affecté aux « Chemins de fer du Gard », compagnie qui venait d'être créée pour l'exploitation d'un transport commode du charbon des mines régionales. Il y recevra le titre d'Ingénieur-résident des Chemins de fer du Gard.

Dès son arrivée, il exécute un premier nivellement de précision, de 72 kilomètres entre Alais (orthographe d'époque) et Beaucaire. La fermeture aller-retour, de 2 centimètres, est très prometteuse. Ce brillant résultat est obtenu grâce à l'habileté de Bourdalouë, par un choix judicieux des meilleurs instruments existant à l'époque mais aussi par l'utilisation d'une mire de nivellement de son invention, la mire parlante.

La mire parlante

Bourdalouë invente la mire parlante en 1830, pour remplacer les mires coulissantes à voyants, longues à manœuvrer et cause d'erreurs et d'incertitudes : en effet, les mesures sont dorénavant ramenées dans la lunette de l'opérateur et deviennent de sa seule responsabilité au lieu d'être confiées aux porte-mires.

Bourdalouë adopte d'emblée les dimensions et divisions métriques. Cela peut aujourd'hui paraître aller de soi, mais il faut se rappeler que le système décimal métrique, paradoxalement assez malmené par des décrets napoléoniens de 1800 et 1812, fut long à s'imposer et ne fut rendu obligatoire qu'à partir du 1^{er} janvier 1840 par la loi du 4 juillet 1837.

Les mires sont de 4 mètres avec, sur la moitié de leur largeur, des plages de 2 centimètres rouges et blanches, alternativement à gauche ou à droite par tranche décimétrique, numérotée par une chiffresaison noire de 00 à 39 portée sur le côté libre

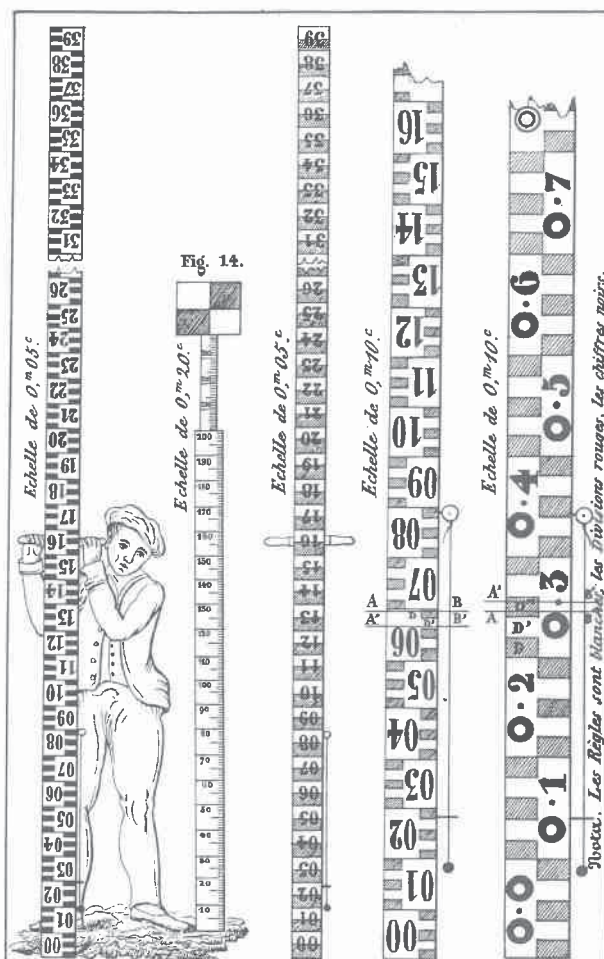


Figure 3 : Les premières mires parlantes.

de graduations. Les chiffres sont la tête en bas. La largeur est de 14 cm et un fil à plomb permet de s'assurer de la verticalité.

C'est en somme une disposition qui est restée très classique par la suite, avec toutefois plus tard, l'adoption de plages centimétriques rendue possible par un plus fort grossissement de la lunette du niveau.

La construction des chemins de fer et des canaux du midi

Pendant deux ans, il mènera les études nécessaires pour la construction des premiers chemins de fer : Alais - La Grand-Combe et Anduze - Saint-Jean-du-Gard.

De 1832 à 1846, Bourdalouë est employé au service du canal de Beaucaire, puis des chemins de fer du Midi. Il procède au nivellement :

- des voies de La Grand-Combe à Alais ouverte en 1836 et de Montpellier à Nîmes (orthographe d'époque),

- des canaux de Beaucaire et de Bouc,

- des voies des chemins de fer de Marseille à Beaucaire en 1843, avec un écart de fermeture de 10 cm pour 90 km, prolongé jusqu'à Avignon, puis de Marseille à Toulon, de Lyon à Avignon en 1846.

En 1843, il visite les nouveaux chemins de fer en Angleterre, en Irlande et en Belgique pour étudier l'exploitation des voies ferrées et, en 1846, il effectue des études pour canaux et chemins de fer en Afrique.

Le plan automoteur à double effet des mines de La Grand-Combe

En 1844, Bourdalouë invente et construit un dispositif pour la descente du charbon depuis les mines de Champclauzon jusque dans la vallée du Gardon d'Alais à La Grand-Combe [3]. Profitant de la dénivellation de 200 mètres, il imagine de récupérer l'énergie mécanique des wagons qui descendent chargés, pour faire remonter le même nombre de wagons à vide.

Compte tenu de la topographie des lieux, après avoir exécuté un lever du site à l'échelle de 1/2000 en courbes de niveaux, il aménage un chemin de fer et un « plan automoteur à double effet » :

- Un plan incliné inférieur, avec une pente de 30 % et 150 mètres de dénivellation, part de la voie ferrée d'Alais située dans la vallée, et monte jusqu'à un palier intermédiaire, ayant une altitude inférieure à celle de la mine, de telle sorte qu'une voie ferrée de 1500 mètres de longueur avec une pente de 3,5 %, tracée à flanc de versant depuis le carreau de la mine jusqu'à ce palier, permette d'acheminer par simple gravité, les rames de wagons chargés de charbon. Ce plan incliné est équipé de deux voies, l'une pour les rames chargées descendantes, l'autre pour les rames vides montantes.

- Un plan incliné supérieur, avec une pente de 40 % et 75 mètres de dénivellation, part du palier intermédiaire et atteint un niveau supérieur à celui de la mine, de telle sorte que de là, une autre voie de 1200 mètres de longueur avec une pente de 2 %, tracée à flanc de versant, permette d'acheminer par simple gravité, les rames vides jusqu'au carreau de la mine. Ce plan incliné ne comporte qu'une seule voie pour les rames vides montantes.

Par un jeu de câbles et de poulies et sans apport d'énergie extérieure - c'est tout le génie du projet -, trois rames de wagons se mettent en mouvement simultanément sur les plans inclinés : la descente d'une rame de wagons chargés sur le plan incliné inférieur, suffit en recueillant son « travail », au sens physique du terme (ici produit de son poids par la dénivellation), à assurer à la fois les remontées d'une première rame vide sur ce même plan incliné inférieur et d'une deuxième rame vide sur le plan incliné supérieur.

Comme il en avait l'habitude en présentant une réalisation, toujours pleine de sens pratique, Bourdalouë accompagne le dessin topographique en plan et en profil, à l'échelle de 1/2000, d'une étude économique, comptée en journées de chevaux, en heures de manœuvres et finalement en francs épargnés.

Bourdalouë est récompensé par une Médaille d'Or à l'Exposition nationale de 1849 et son invention est présentée à l'Exposition universelle de Londres en 1851.

Lors des troubles aux mines de La Grand-Combe en 1848, Bourdalouë, grâce à ses qualités humaines et à son contact avec le monde ouvrier, est envoyé pour ramener le calme.

Les premières notices sur le nivellement

Certes, Bourdalouë n'est pas le premier à écrire un traité sur le nivellement. Il convient de rappeler d'abord que chronologiquement, l'abbé Jean Picard (1620-1682), dont le nom est resté attaché à la mesure de l'arc de méridien entre Sourdon (près d'Amiens) et Malvoisine (près de la Ferté-Alais), avait été l'auteur d'un « Traité du nivellement » publié deux ans après sa mort, par les soins de son fidèle La Hire en 1684 [N1], puis qu'un traité de Bullet fut publié en 1689 [N2] et ensuite que le capitaine de Lespinasse, du Corps Royal d'Artillerie, fit paraître un « Traité sur la théorie et la pratique du nivellement » en 1768 [N3]. On peut citer encore un traité de Fabre en 1809 [N4] et un autre de Busson-Descars à Parme en 1813 [N5].



Figure 4 : Schéma du plan automoteur à double effet de Champclauzon.

Une première note sous le titre « Amélioration du niveau-cercle Égault et construction de nouvelles mires », est écrite - manuscrite - en 1844, par M. Bourdalouë, Ingénieur-résident des Chemins de fer du Gard, Conducteur des Ponts et Chaussées [1].

Bourdalouë publie ce texte le 25 Novembre 1844 sous le titre : « *Notice sur le Nivellement* » [2], en fait le premier du genre où les critères de précision et de rapidité sont mis en valeur : double retournement de la lunette, mire parlante. C'est la synthèse de 28 années d'expérience déjà.

Le niveau-cercle Égault, amélioré par Bourdalouë

Le tirage de ce document ayant été vite épuisé et de nouvelles améliorations ayant été apportées, Bourdalouë publie alors à Valence, le 7 Mars 1847, une « *Nouvelle notice sur les Nivellemens* » [4] à la fin de laquelle sont consignés les résultats des nivellements des Chemins de fer du Midi, du canal de Beaucaire et des tracés et nivellements de Lyon à Avignon. (N.B. : avant 1850, les substantifs et adjectifs se terminant en « ment » et en « ant » perdaient leur finale « t » au pluriel . Exemple : des savans) :

Les grands nivellemens qui nous ont été confiés depuis trente ans, pour études de canaux, routes, chemins de fer, dessèchemens de marais, nous ont mis à même de pouvoir créer, améliorer et simplifier les instrumens, afin d'économiser le temps et diminuer, par conséquent, les frais énormes que les grandes opérations entraînent, éviter surtout les erreurs, et obtenir en trois ou quatre fois moins de temps une plus grande précision.

Par les épreuves répétées depuis plus de quinze ans sur les grandes lignes, on peut assurer qu'au moyen de nos niveaux, mires et méthodes d'opérer, les opérations coûtent trois fois moins, et pré-

sentent bien certainement, pour la France entière, une économie annuelle de plus de 100 000 francs, soit environ 1000 francs par département.

Pour atteindre notre but, nous avons d'abord cherché à reconnaître quel était le niveau le plus prompt, le plus sûr, le moins sujet à se déranger. De l'avis même de M. Égault, c'est le niveau-cercle exécuté sur ses indications par Lenoir, opticien à Paris.

C'est donc celui que nous avons choisi et amélioré :

- 1°) en quadruplant la portée de sa lunette ;
- 2°) en augmentant ses dimensions ;
- 3°) en fixant plus convenablement la bulle sur sa règle, où elle peut être rectifiée très facilement ;
- 4°) en y ajoutant une fourchette, qui, donnant sur les collets de la lunette toujours la même position à la bulle, permet de faire plus promptement les divers réglemens de l'instrument ;
- 5°) en mettant à l'oculaire un pignon qui permet de faire jouer la lunette très promptement et exactement, suivant les besoins et distances des points observés ;
- 6°) en mettant, pour marquer le retournement de la lunette et de la bulle, de gros chiffres 1 1 et 2 2 qui, devant toujours se raccorder, évitent, par ce moyen bien simple, les erreurs qui avaient lieu si souvent dans le retournement de l'instrument ;
- 7°) en supprimant une des trois vis de pointage, qui est remplacée par un ressort, dont l'action constante ne laisse plus que deux vis placées sous la main de l'opérateur, qui se manœuvrent ainsi plus promptement et plus facilement ;
- 8°) en faisant des pieds plus élevés, plus rigides, plus fortement charpentés, pour éviter les oscillations.

Avec ces nouveaux instrumens, les rectifications sont rares, et des cotes qui n'étaient lues qu'à 120 mètres, peuvent aujourd'hui être prises jusqu'à 500 mètres, et même 700, lorsqu'il n'y a pas de soleil.

Pour les grands nivellements, les mires parlantes ont des divisions de 4 cm. Les plages de 5 de ces divisions, de 20 cm donc, ne sont chiffrées que pour un décimètre. De la sorte, au lieu de prendre la moyenne des lectures lors du double retournement de la lunette et de la nivelle, il suffit d'en faire la somme.

Dans sa conclusion, Bourdalouë écrit : *Malheureusement, aucun de ces nivellemens ne se rapporte au même zéro de la basse mer ... Combien ne doit-on pas regretter que des frais trop élevés aient empêché jusqu'à ce jour d'établir sur toute la France des repères parfaitement vérifiés, et rapportés à la même basse mer, au même zéro ! ... Mais aujourd'hui que ce travail peut être fait si lestement, avec tant de précision, il est à espérer que bientôt nous aurons des tables de repères pour la France entière.*

On remarque que dans ce texte, Bourdalouë envisage, à l'instar des hydrographes, de fixer le zéro au niveau des basses mers et non au niveau moyen.

Quelques mois plus tard, il est appelé en Égypte pour une mission importante.

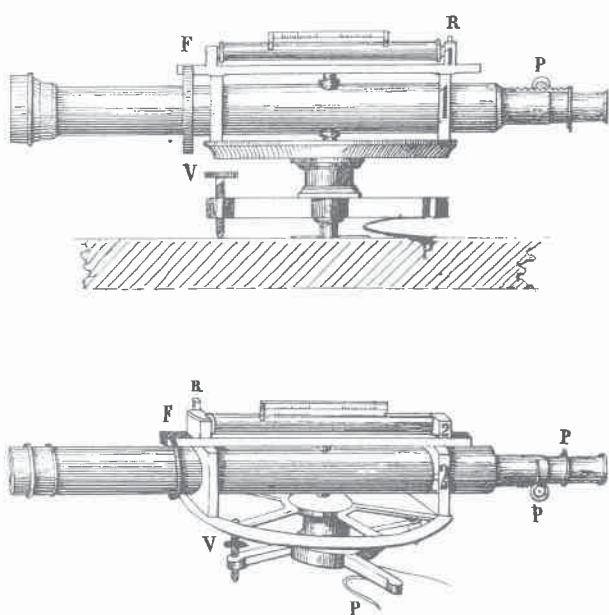


Figure 5 : le niveau-cercle d'Égault, amélioré par Bourdalouë et exécuté par Lenoir.

Étude de l'isthme de Suez

L'expédition d'Égypte de Bonaparte avait été l'occasion de l'envoi en mai 1798, d'un corps de savants souvent illustres qui ont fondé l'égyptologie moderne. La retombée la plus célèbre, à juste titre, fut le déchiffrement des hiéroglyphes par

Jean-François Champollion. Mais il faut bien reconnaître que, parmi les très nombreux et remarquables levés topographiques exécutés par les cartographes de l'expédition, un au moins laissa à désirer : le nivellement de l'isthme de Suez entre la mer Rouge en cette ville et la mer Méditerranée.

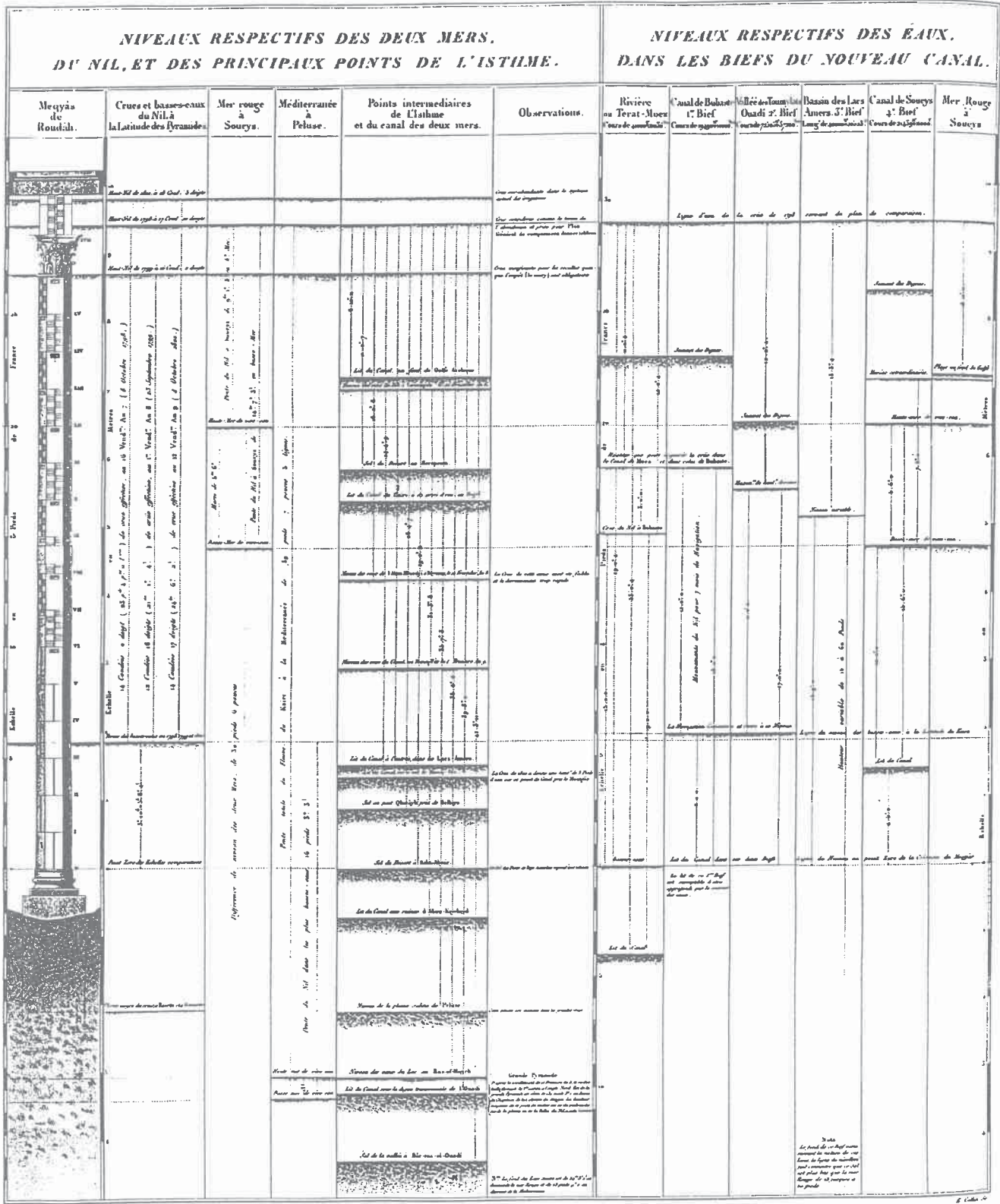


Figure 6 : Résultat du nivellement de l'expédition d'Égypte de 1799-1800 : Par rapport au niveau de la basse mer de vive eau en Méditerranée à Peluse, la haute mer en ce lieu est à 13 pouces, soit 35 cm plus haut, et le niveau de la mer Rouge à Suez est de 25 pieds pour la basse mer, soit 8,12 m, et de 5 pieds et demi plus haut pour la haute mer, soit 9,91 m.

La dénivelée trouvée alors, de 8 à 9 mètres, a longtemps obéré toute velléité de percement par un canal maritime sans écluse. Il est vrai que les opérations avaient été faites avec des instruments très médiocres, un simple niveau d'eau, des mires à coulisse en toises, pieds, pouces, lignes, dans la hâte (seize kilomètres par jour !), interrompues plusieurs fois par les hostilités, si bien que Kléber, général en chef de l'expédition après le retour de Bonaparte en France en Août 1799, et qui devait être assassiné au Caire quelques mois après, le 14 juin 1800, informé des attaques des avant-postes à El Arich (Sinaï) par l'armée du Grand Vizir, avait donné l'ordre de rappeler les ingénieurs.

Pour lever le doute qui pesait sur ce résultat, une étude approfondie de l'isthme est décidée. Une mission est envoyée sur place en Août 1847, sous la direction de Paulin Talabot, un des grands ingénieurs du siècle. Ayant apprécié Bourdalouë pour l'avoir eu sous ses ordres dans le Gard, il lui confie la responsabilité de la brigade topographique.

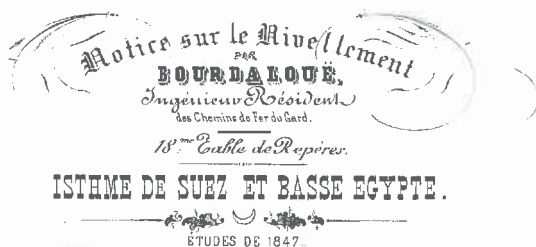


Figure 7 : Une brigade de nivellement en Égypte en 1847.

La brigade bénéficie d'un climat d'amitié et d'une logistique imposante : deux compagnies du Génie, une brigade de bédouins, 80 dromadaires et 32 tentes. Bien entendu, Bourdalouë fait merveille. Les opérateurs ont été choisis parmi les employés les plus exercés des Chemins de fer du Midi. Les instruments perfectionnés sont présents en grand nombre. Tous les nivellements sont observés quatre fois au moins et sont contrôlés par des nivellements de « grande vérification » à très grande portée. De plus, des nivellements relient Le Caire à Suez et au Lac Timsah. Les calculs sont faits au



Figure 8 : Tracé topographique des principaux nivellements de 1847, en Égypte.

bureau central établi au lac Timsah. Tout au long du parcours, des points de repères naturels sont répertoriés et nivelés « pour rendre toutes vérifications promptes et les opérations postérieures faciles à rattacher entre elles ».

Douze mille points d'altitudes sont levés et consignés dans 54 registres. Une carte des itinéraires de l'isthme de Suez et de basse Égypte est établie à l'échelle de 1/20 000 en 18 feuilles de format grand aigle [5].

Les résultats sont consignés dans une Notice sur le nivellement, relative au études de 1847 de l'isthme de Suez et basse Égypte, comportant une table de repères et un parallèle entre le nivellement de 1799 et celui de 1847 [6].

Une différence minime de 80 centimètres au maximum, est trouvée entre les niveaux moyens des deux mers, la mer Rouge à Suez étant un peu plus élevée que la mer Méditerranée devant l'ancienne Péluse, à l'embouchure du bras oriental du delta du Nil. On connaît la suite : la Compagnie Universelle du Canal de Suez est créée, et Ferdinand de Lesseps peut lancer les travaux de percement.

En 1850, Bourdalouë présente ses travaux de nivellement d'Égypte à l'Académie des Sciences.

Il est fait Chevalier de la Légion d'Honneur en 1852. Il est élu conseiller municipal de Bourges et conseiller d'arrondissement.

DÉSIGNATION DES LIGNES ET REPÈRES.		ALTITUDES rapportées à la Méditerranée.
LIGNE DES DEUX MERS.		
<i>Nivellement de la Méditerranée au point A de la base de triangulation, lac Tensah.</i>		
MM. JALABERT et GABOLDS (opérateurs).		
Mer Méditerranée. — Basse mer du 8 décembre 1847.....		0 ^m 00
— Pleine mer id. id.....		0 38
Pyramide } des ingénieurs allemands, dessus de la pierre de taille qui couronne R. N° III } cette pyramide.....		1 74
Repère. Sur le socle en granit de la porte du fort, des ruines de Faramah ou Pelusium (porte de la mer).....		5 55
R. A. Niveau du point culminant d'un bloc de granit en saillie de 0 ^m 70 au-dessus des ruines de Pelusium, à 350 ^m environ au Sud de la porte du fort.....		5 03
R. B. Sur la clé de la voûte du puits de Bir-Déouitdar (côté Sud).....		4 46
R. C. Dessus d'une pièce de bois à la naissance de la voûte du puits de Bir-Déouitdar (côté Sud).....		2 62
R. Sur le tronc en pente d'un arbre connu sous le nom de bargath, au Nord des dattiers qui entourent le puits de Bir-Bourdje.....		4 10
R. 11. Sur l'appui d'une croisée d'une masure en ruines (ancien poste de Bir-el-Faouar, point de jonction avec le nivellement de MM. Petit et Delhom).....		12 74
Sol du lac Tensah.....		— 5 00
R. Sur un piquet point A de la base de triangulation du lac Tensah. Point de départ du nivellement se dirigeant sur Suez.....		7 43
Puits. Ligne des eaux des puits de la Méditerranée au lac Tensah.....		0 70
<i>Nivellement du point A de la base de triangulation du lac Tensah au point trigonométrique n° 31 sur le bord du bassin de l'Isthme.</i>		
MM. PETIT et DELHOM (opérateurs)		
R. Sur le piquet point A de la base de triangulation au lac Tensah....		7 43
R. 83. Sur une pierre de granit aux ruines de Sérapéum, (près le P. T. N° 6.).....		16 23
Sol du bassin des lacs amers ou de l'Isthme.....		— 8 00
R. Sur le piquet au point trigonométrique N° 31, point de départ de la continuation sur Suez.....		2 73
<i>Nivellement du point trigonométrique n° 31, à Suez.</i>		
MM. BOURDALOUE et FAUMONT.		
Repère. Point trigonométrique n° 31.....		2 ^m 73
R. Sur un gros bloc de concretion sablonneuse se trouvant le plus rapproché du contour Nord-Est de la berge, sur des bassins de l'Isthme, à 40 ^m Nord-Est du point T. n° 30.....		2 11
R. E. Au monument persepoltain, sur un cube de grès du Caire, au Sud des fouilles.....		11 37
R. I. Sur un gros bloc de pierre à 60 ^m au Nord-Est du point T. n° 43....		5 12
R. J. Sur une grosse pierre sortant du sable dans la direction de la ligne trigonométrique (44 et 47).....		1 08
R. D. Dessus du couronnement du quai de l'hôtel de Suez, à l'angle formé par le mur Ouest de l'escalier descendant à la mer.....		2 61
La plus basse mer donnée par les officiers de la marine anglaise....		— 0 56
La plus basse mer à Suez. — Cette basse mer n'est observée que très-rarement. Elle nous a été donnée par le chef du port.....		— 0 63
La plus haute mer à Suez.....		2 27
Pleine mer à Suez, observée le 25 novembre 1847.....		1 96
Basse mer, Idem.....		0 03
LIGNE DE SUEZ AU CAIRE.		
<i>Nivellement ARNAUD et ENFANTIN.</i>		
R. D. Dessus du couronnement du quai de l'hôtel de Suez, à l'angle formé par le mur Ouest de l'escalier descendant à la mer.....		2 61
R. C. Dessus du socle de l'hôtel de Suez, à l'angle Nord-Est.....		2 66
R. B. Sur la pierre d'un couronnement du mur du quai côté Nord du petit escalier descendant à la mer, près le pavillon du surveillant du port de Suez.....		2 32
R. A. Sur la première marche de l'escalier Ouest de la mosquée el-Moazzet, contre le mur.....		2 83
R. X. Sur la pierre du milieu de la porte de ville de Suez servant d'arrêt aux deux vantaux.....		3 02
R. F. Sur le seuil en bois, côté gauche en entrant au Cheik-el-Arbain....		7 02
R. G. Sur le seuil de la petite porte ronde du puits de Suez, près la tour du puits.....		23 54

Figure 9 : Résultats du Nivellement de 1847, de l'isthme de Suez. Les altitudes sont rapportées au niveau de la basse mer en Méditerranée.

Le Nivellement général du Département du Cher

Le dépôt de la Guerre publiait feuille par feuille depuis quelque temps déjà, la nouvelle carte de France à l'échelle de 1/80 000, levée par le corps des officiers de l'État-major. La feuille de Bourges, n° 122, paraît en 1846. La rareté des cotes d'altitude, leur détermination par angles zénithaux et la représentation du relief par des hachures, ont peut-être provoqué chez Bourdaloue un sentiment de frustration, lui qui avait saisi par ses travaux passés toute l'importance d'une bonne et précise représentation de l'altimétrie en cartographie pour les besoins des travaux de génie civil. Mais après tout, la nouvelle carte était faite par des militaires, pour des besoins essentiellement militaires.

Est-ce en réaction ?, toujours est-il que de 1850 à 1854, Bourdaloue réalise à ses frais, le nivellement du département du Cher.

Ce travail nécessite 5 ans d'études, 10 000 journées d'opérateurs, de lecteurs, de porte-mires et de manœuvres, qui remplissent 125 volumes minutes. 8 000 points d'altitude sont mesurés. Les lignes de nivellement sont réparties en 1^{re} et 2^e classe et, entre les mailles, des points de cotes sont levés. L'ensemble est présenté le 15 Juillet 1854.

Le nivellement du département du Cher est rapporté à l'altitude du repère de l'État-major de la cathédrale de Bourges, matérialisé par la base d'un triangle tracé à 3 mètres environ au-dessus du dallage, sur la face verticale Est du pilier intérieur Sud-est de la tour Nord, point de 1^{er} ordre de la nouvelle méridienne de France. Cette altitude a été déterminée par les dénivelées calculées à partir des angles zénithaux des côtés de la chaîne entre Dunkerque et Perpignan. Le triangle est assorti de la date 1818. Son altitude, donnée par l'État-major, est 159,360.

Les résultats sont consignés dans quatre volumes de textes et de tables et dans un atlas. L'édition est tirée en 300 exemplaires [9] :

— un premier volume en date du 30 mars 1851, répertorie les altitudes sur les routes formant les grandes lignes du nivellement de ceinture du département et sur six routes rayonnantes depuis Bourges, et décrit les instruments utilisés, ceux déjà décrits dans la notice de 1847 ;

1818



Figure 10 : Repère géodésique gravé par les officiers de l'État-major, daté en 1818, dans la cathédrale de Bourges.

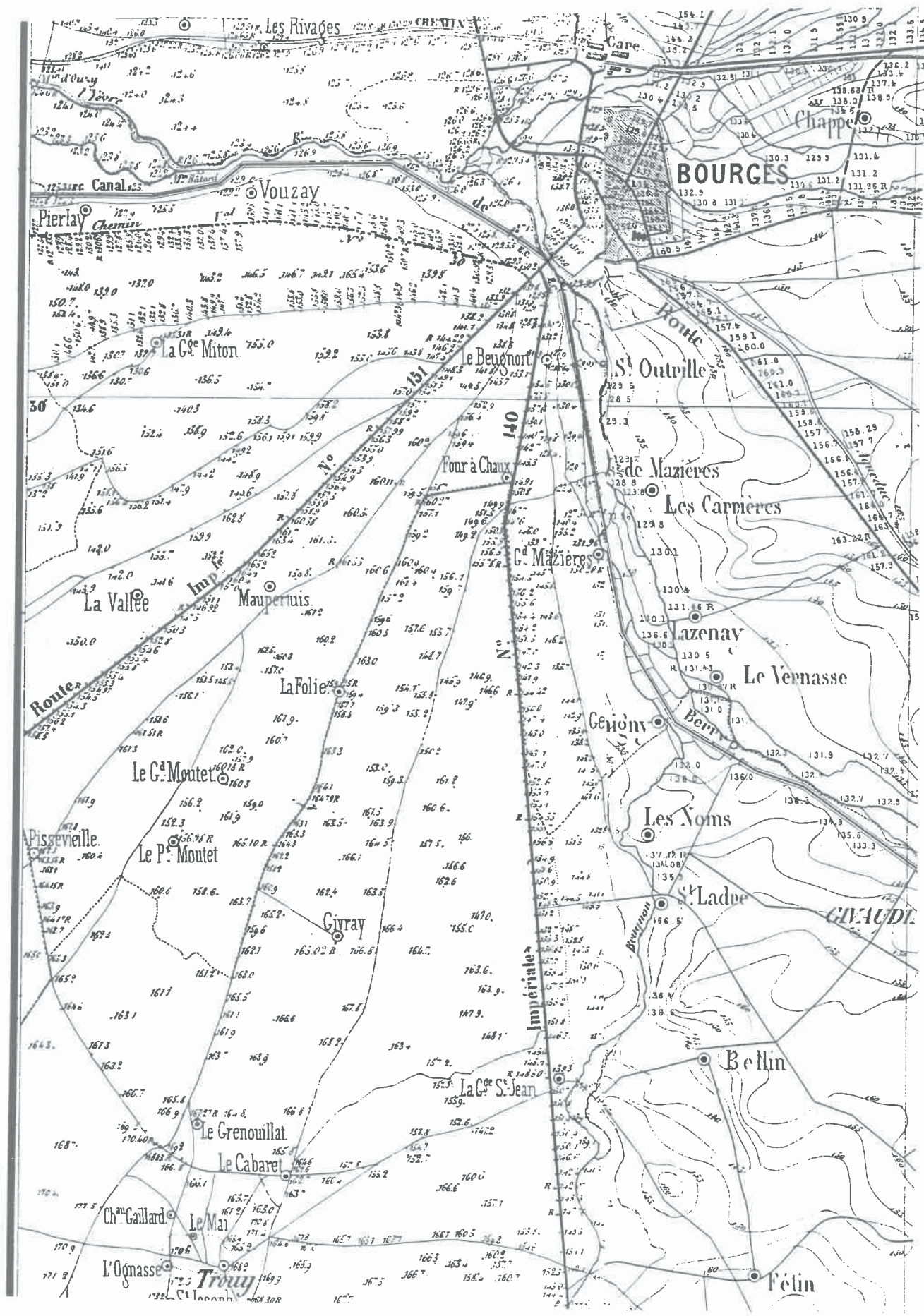


Figure 11 : Extrait de la planche de Bourges du nivellement du département du Cher (à l'échelle de 1/40 000), correspondant au quart nord-est de la feuille de la Carte d'État-major n° 122 : le bord de feuille est le méridien de Paris. La partie droite est présentée en courbes de niveau.

— un deuxième volume en Juin 1852, comprend les nivellements des routes nationales du département et donne la description d'un nouvel appareil utilisé par Bourdalouë, le niveau Brunner (voir ci-dessous) ; de plus, il décrit les découvertes archéologiques faites à l'occasion des travaux de nivellement, et ajoute une notice sur les aqueducs et les murailles de la cité antique d'Avaricum, ainsi que quelques mots du Préfet du Cher sur le projet d'amener les eaux à Bourges (voir ci-dessous) ;

— un troisième volume en Octobre 1852, comprend les nivellements des routes départementales, reprend le texte du premier volume épuisé, et donne la description d'un nouveau niveau à bulle d'air qui restera connu sous le nom de niveau Bourdalouë (voir ci-dessous) ;

— un quatrième volume en Avril 1855, donne la description succincte d'un nouvel instrument, le pantosymètre (voir ci-dessous), et comprend les nivellements sur les chemins vicinaux et le long des cours d'eau ;

— un atlas de 21 feuilles format grand aigle, plus un tableau d'assemblage. Les planches sont à l'échelle de 1/40 000 et ont un format utile de 800 mm par 500 mm, soit 32 km par 20 km. Elles sont ainsi à l'échelle des levés alors tout récents, de la carte d'État-major (1840-1846 pour la feuille de Bourges) - qui sera publiée au 1/80 000 - exactement au découpage des quarts de feuilles de cette carte.

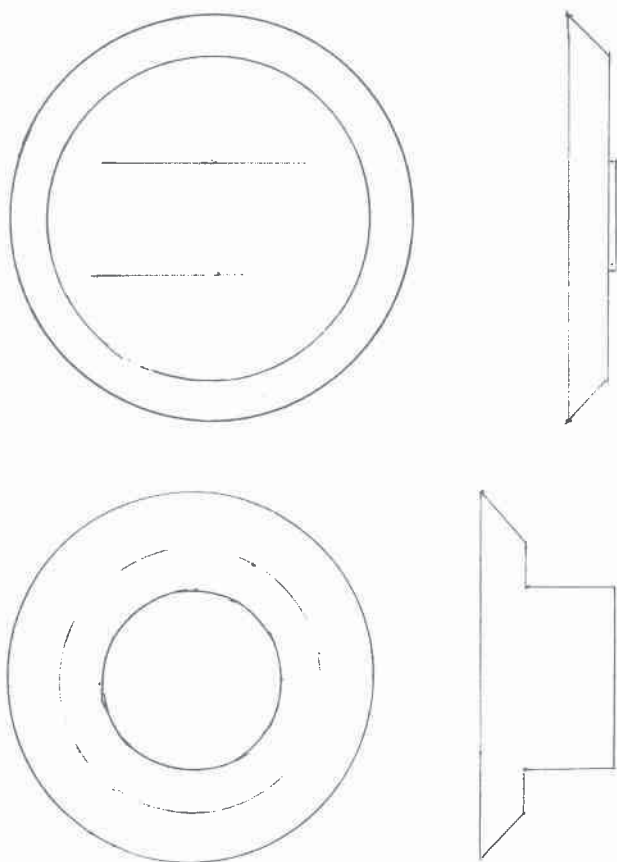


Figure 12 : Repère de nivellement du département du Cher et son indicateur (échelle 1/2).



Figure 13 : Un des repères posés à Bourges par Bourdalouë en 1850, toujours en place au pied du meneau du portail central de la cathédrale Saint-Étienne. Son altitude 156,347, portée par l'indicateur scellé au-dessus du repère, est directement déduite de l'altitude 159,360, du repère géodésique (tour nord de la cathédrale) de la méridienne de Paris du canevas de 1^{er} ordre de la carte d'État-major. Il est ainsi le repère fondamental du nivellement du département du Cher et de la ville de Bourges.

Les premiers repères de nivellement

De nombreux points de nivellement sont matérialisés pour la première fois, par des repères scellés, prototypes en quelque sorte des futurs repères Bourdalouë. Certains sont encore en place de nos jours.

Le repère proprement dit est un cylindre horizontal de 40 millimètres de diamètre, en saillie de 20 mm sur une platine de 80 mm de diamètre et de 10 mm d'épaisseur, portant l'inscription circulaire NIVELLEMENT G^L DE LA FRANCE. Le repère, scellé sur la face verticale d'une construction, est complété par un *indicateur* fixé au-dessus du repère, de 70 mm de diamètre et de 10 mm d'épaisseur, portant l'altitude en mètres et millimètres, en chiffres de 20 mm de hauteur.

Le niveau Brunner

Dans le deuxième volume de son « Nivellement général du département du Cher », paru en Octobre 1852 [9], Bourdalouë présente le niveau à bulle d'air qu'il a utilisé. Construit par Brunner, artiste adjoint du Bureau des longitudes, ce niveau fait l'objet d'une description par Brunner fils et de remarques par Breton de Champ. Ce niveau « à bulle et à lunette, pouvant servir de Niveau de pente ou de cercle » est utilisable pour lever des points de cote, hors de l'itinéraire du nivellement, pour peu que la pente soit faible. Il est une première réponse au souci de Bourdalouë de pouvoir décrire le relief du terrain à l'intérieur des mailles de nivellement.

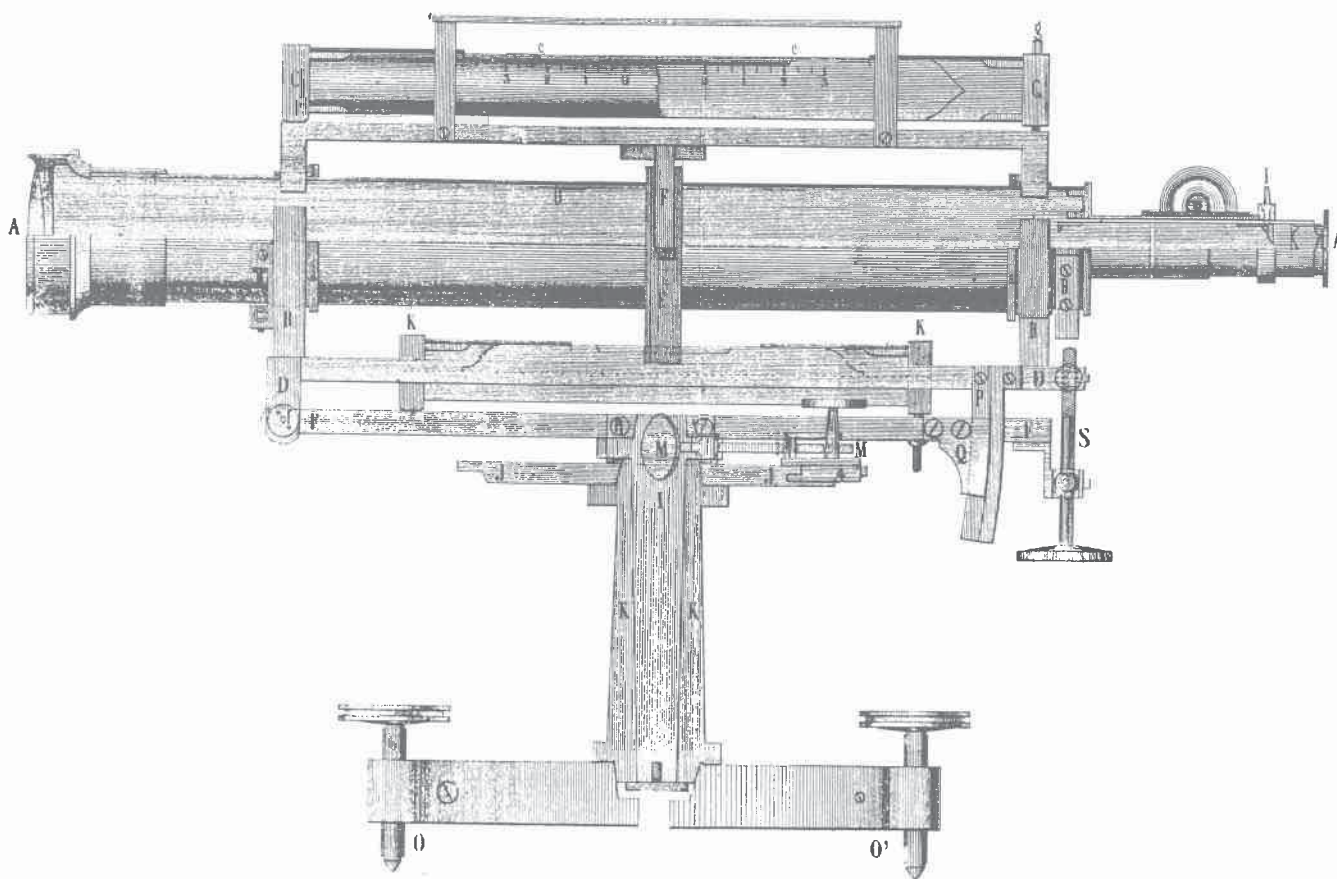


Figure 14 : Le niveau Brunner utilisé par Bourdalouë à partir de 1852.

Comme pour les niveaux de Ramsden, de Chézy et d'Égault, la lunette porte deux collets circulaires qui lui permettent de tourner sur elle-même ; mais ici, au contraire des niveaux cités, la nivelle repose sur les colliers de la lunette et non l'inverse, diminuant le risque d'interposition de poussière ou d'eau de pluie ;

Un cercle JJ permet de mesurer les angles horizontaux ;

Pour mesurer les pentes, une nivelle KK est fixée sur le plateau FF pour le rendre horizontal et la platine DD peut être inclinée par la vis S. Un arc de cercle P est divisé de 5 en 5 minutes et un vernier Q donne les 10 secondes.

Le niveau Bourdalouë

Dans le troisième volume de son « Nivellement général du département du Cher », paru en Octobre 1852 [9], Bourdalouë présente un nouveau niveau à bulle d'air, exécuté sur ses indications, par Gravet, successeur de Lenoir, opticien à Paris, 14 rue Cassette, instrument qui est resté connu sous le nom de « niveau Bourdalouë ».

Bourdalouë apporte encore quelques modifications essentielles au niveau d'Égault qu'il avait déjà amélioré en 1847, ainsi qu'aux méthodes, fruit de 35 ans de pratique.

Le mode opératoire consiste, pour une nivelée, à observer la mire dans deux positions de la lunette : retournement de l'alidade et de la lunette bout pour bout avec rotation de 180° suivant son axe. Pour cela, perfectionnement très goûté des opérateurs, de gros chiffres 1 et 2 sont gravés à la fois sur la lunette et sur les fourchettes, de telle sorte que pour toute mesure les paires de chiffres 1 et 1 ou 2 et 2 se trouvent en coïncidence, toujours côte à côte à l'endroit, côté oculaire, à gauche pour l'opérateur.

Le calage de la bulle de la nivelle se fait par les vis calantes. Pour ne pas changer la hauteur de l'instrument entre la visée arrière et la visée avant, il est nécessaire que l'axe principal soit rendu aussi vertical que possible avant le premier pointé. Le point faible est, comme pour tous les niveaux à nivelle fixe, le risque d'inégalité des colliers de la lunette qui se traduit par une visée en pente malgré le double retournement. Ce défaut ne peut être annulé que par l'égalité des portées arrière et avant.

La description en sera reprise par Bourdalouë lui-même dans la circulaire numéro 14 du Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, datée de Bourges, le 25 Février 1862 [21].

Le Pantosymètre

Dans le quatrième volume de son « Nivellement général du département du Cher » paru en Avril 1855 [9], Bourdalouë présente un nouvel instrument qu'il appelle d'un nouveau vocable : *Pantosymètre*.

NIVEAU DIT BOURDALOUÉ.

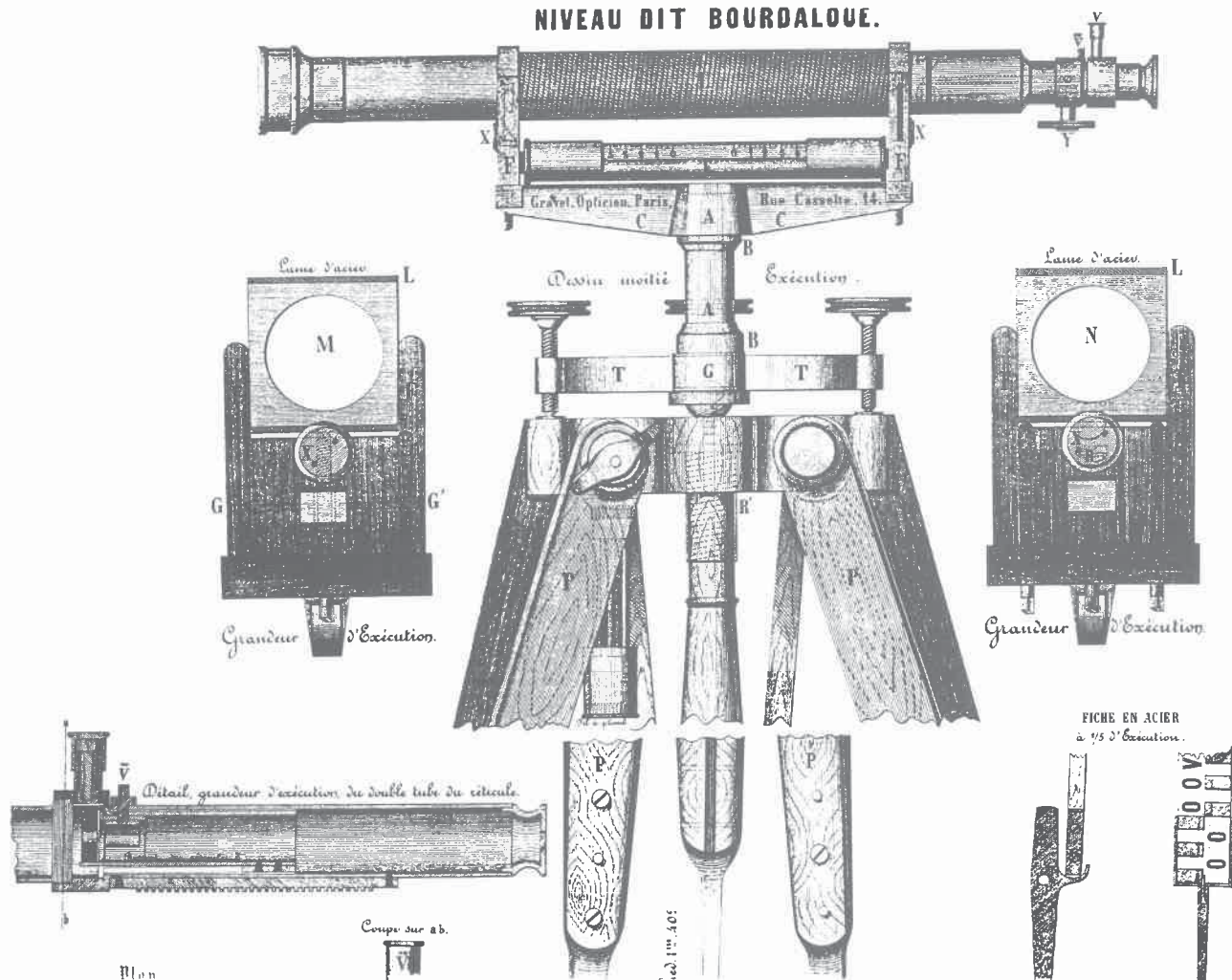
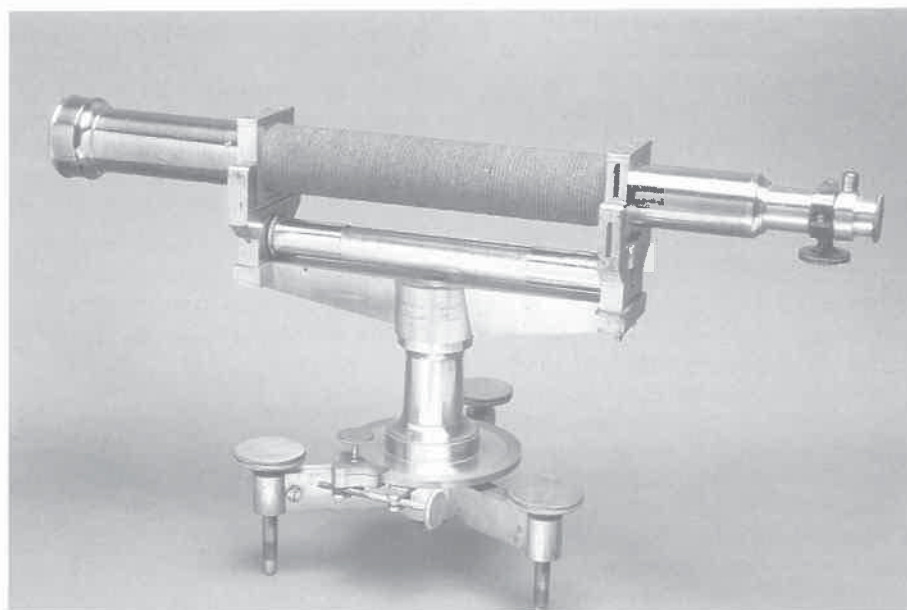


Figure 15 : Le niveau Bourdaloué (échelle 1/4 et, pour les détails, 1/2).

Un axe principal de rotation repose sur un support à trois vis calantes qui permettent de le rendre vertical. Cet axe porte une traverse horizontale — alidade — sur laquelle sont fixées :

- une nivelle dont la directrice peut, grâce à une vis de réglage, être rendue perpendiculaire à l'axe principal,
- deux fourchettes verticales, dont l'une est réglable en hauteur.

La lunette de visée, d'une longueur de 50 cm, est munie de deux colliers rigoureusement égaux par lesquels elle repose sur les deux fourchettes. La ligne de visée est réglable par une vis qui peut déplacer le réticule en hauteur. Le tube de la lunette est gainé entre les deux colliers afin d'éviter l'échauffement lors de la manipulation pour le retournement. La mise au point de l'oculaire est obtenue avec douceur par une crémaillère.



Il existait à l'époque le mot *Pantosymètre* pour désigner un instrument permettant de mesurer toutes sortes d'angles, de hauteurs ou de distances. Le nouveau mot, d'après la racine grecque, indique que l'appareil permet aussi de tout mesurer. Bourdalouë venait d'apprendre que Porro, ancien officier du Génie sarde, avait inventé le *tachéomètre*, dont le nom indique qu'il mesure vite ! et qui fut décrit dans les Annales des Ponts et Chaussées (Novembre et Décembre 1852).

Un pantosymètre plus perfectionné est construit par Gravet comme le niveau Bourdalouë. Il est muni d'une excellente boussole pour les angles horizontaux, d'une lunette surmontée d'un niveau à bulle d'air, d'un cercle vertical avec vernier, d'une stadia jointe à la lunette. Bourdalouë espérait faire paraître les dessins de l'appareil dans un 5^e volume du « Nivellement général du Département du Cher », mais celui-ci ne fut jamais publié. La description d'une version à fil à plomb automatique sera publiée plus tard (voir ci-dessous).

Bourdalouë assure que son instrument, moins précis que celui de Porro, est en revanche plus rapide. Il juge qu'il *sera très utile pour les personnes qui voudront avoir simultanément la figure et les altitudes d'un polygone ne dépassant pas 800 à 900 hectares*. Ceci laisse penser que la portée pratique de l'instrument est de plusieurs centaines de mètres.

L'archéologue

En 1810, le général comte de Barral, alors Préfet du Cher, avait entrepris des recherches sur les vestiges de quatre aqueducs gaulois et romains qui fournissaient des eaux abondantes à Avaricum. Ces études avaient à l'époque, fait l'objet d'une notice restée manuscrite. En 1851, à l'occasion des travaux du nivellement du département du Cher, Bourdalouë découvre des restes de constructions gauloises et romaines et devient membre de la Commission historique du Cher. En 1852, le Préfet, Octave de Barral qui n'est autre que le fils du Préfet de 1810, décide alors de rendre publics les écrits de son père et souhaite promouvoir un projet moderne d'adduction d'eau pour la ville de Bourges [8]. Il crée une Commission d'une vingtaine de membres dans laquelle Bourdalouë trouve sa place, à côté du Maire M. Planchat et de quelques édiles et ingénieurs. Dans le deuxième volume de son « Nivellement général du département du Cher », paru en Octobre 1852 [9], Bourdalouë publie ces textes : Notices sur les aqueducs du Gros-Sourdon, de Menetou et d'Allogny et sur les anciennes murailles d'Avaricum. Pour la réalisation du projet d'amener et de distribuer les eaux à Bourges, un nivellement complémentaire sera exécuté en 1858 (voir ci-dessous).

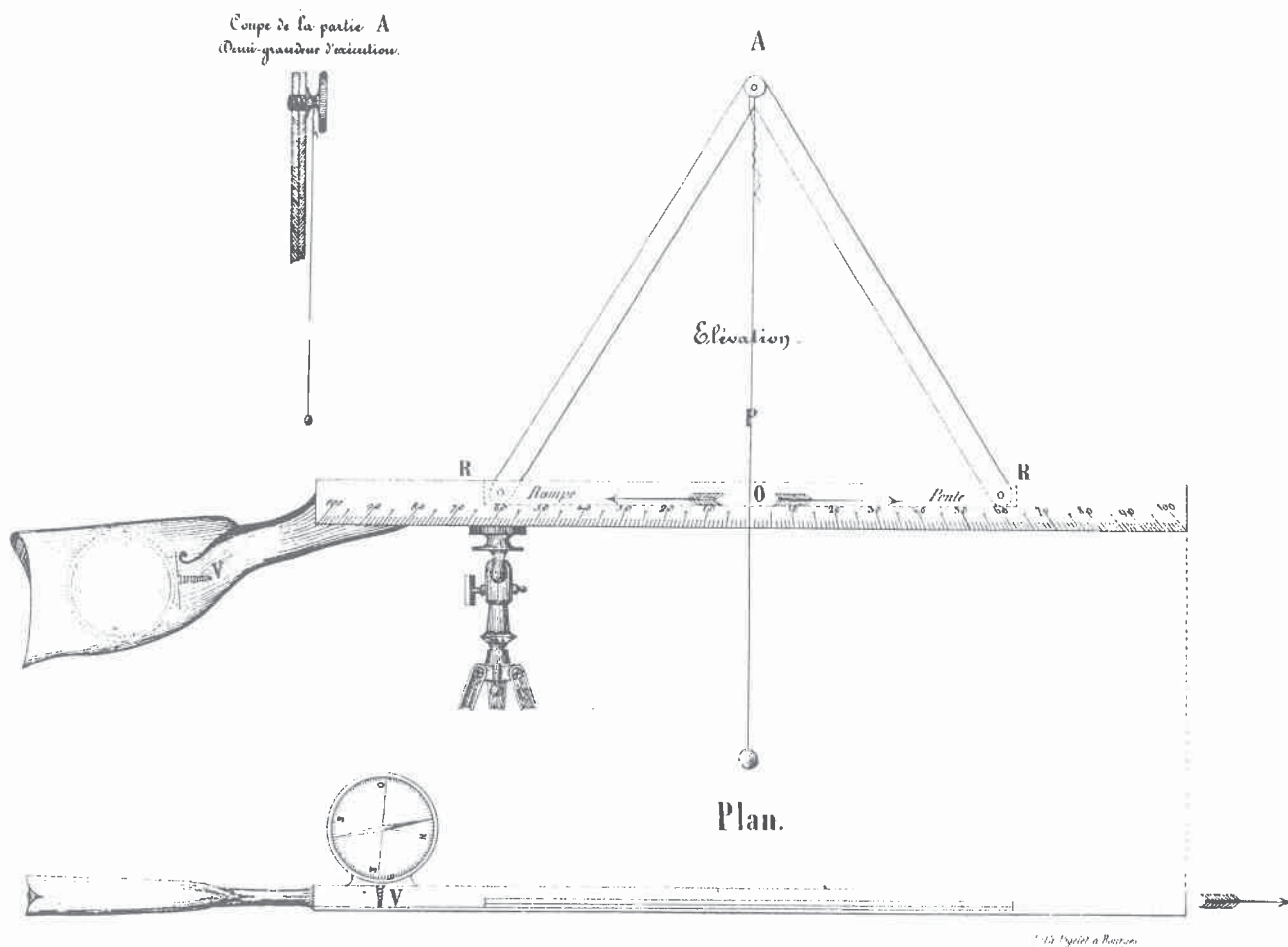


Figure 16 : Le premier pantosymètre.

La mission du Mont-Cenis

En 1852, les chemins de fer sardes entreprennent la construction de la ligne de Culoz (sur le Rhône, alors frontière entre la France et le royaume de Sardaigne) à Turin par Aix-les-Bains, Chambéry, Saint-Jean de Maurienne, la traversée de la chaîne du Mont-Cenis et Suse. La ligne est ouverte en 1858 de Culoz à Saint-Jean.

La chaîne du Mont-Cenis est un obstacle considérable. Pour la traverser, Napoléon Ier avait fait construire en 1811, une belle route passant par le col du Mont-Cenis à plus de 2000 mètres d'altitude. En 1816, le baron de Prony en profita pour y faire un nivellement barométrique entre Suse en Piémont et Lans-le-Bourg en Maurienne, afin d'étudier de nouveaux moyens pour augmenter la précision des observations barométriques et il put en donner de nouvelles formules. Prony, (1755-1839), ingénieur des Ponts et Chaussées, avait été nommé en 1791, membre de la Commission du système métrique et chargé d'établir le cadastre général de la France. Il fit calculer dans ce but, de grandes tables de logarithmes à 19 décimales, pour les nombres et les fonctions trigonométriques dans la nouvelle division du cercle en 400 grades. Il fut élu à l'Académie des Sciences en 1795. Ses observations barométriques du Mont-Cenis ne pouvaient toutefois servir que pour une première approche.

La renommée de Bourdalouë est telle qu'il est appelé dès le début de la phase des études de la traversée ferroviaire, en 1852. Pour établir son projet, il lève un plan à l'échelle de 1/5000, en courbes de niveau à l'équidistance de 20 mètres, entre Lans-le-Bourg et Suse, appuyé sur un nivellement de précision entre les deux villes, par la route du col du Mont-Cenis. Ce plan est un chef-d'œuvre d'un format 490 par 82 cm. Un projet de tracé de voie ferrée passant par le col du Mont-Cenis est figuré en surcharge rouge sur le plan : il fait appel à une suite de plans inclinés présentant une pente de 10 %, avec des points de rebroussement et un certain nombre de tunnels. Côté Savoie la dénivelée n'est que de 680 mètres, mais côté Piémont, elle est de 1580 mètres [7].

Bourdalouë accompagne son projet par une étude des coûts, du mouvement annuel escompté de voyageurs et de marchandises, du temps de trajet estimé à 4 heures. Mais finalement ce projet, peu réaliste il faut bien en convenir, fut abandonné et il lui fut préféré un tunnel de grande longueur.

Le tunnel est néanmoins une entreprise ambitieuse. Il est le premier en date des grandes percées alpines et il est prévu d'emblée à double voie. Il fut placé à 25 kilomètres à l'ouest du col du Mont-Cenis, entre Fourneaux, près de Modane, et Bardonnèche, dans un site qui présente l'avantage d'offrir des altitudes comparables pour les deux extrémités. Grâce au nivellement de Bourdalouë par le col du Mont-Cenis, ces altitudes vont être commodément précisées : respectivement 1 202,82 et 1 335,38 mètres pour les fausses têtes du percement rectiligne de 12 220 mètres. Les galeries des deux côtés sont prévues en pente montante respec-

tivement de 22,2 et 0,5 mm par mètre, pour se rencontrer exactement au milieu à l'altitude 1 338,45.

Les travaux de percement commencent en 1857 et, avec les techniques de l'époque, il doivent durer au moins 25 ans ! Heureusement, l'ingénieur savoyard Germain Sommeiller (1815-1871), qui participe activement à la réalisation du réseau des chemins de fer sardes, invente en 1862 la perforatrice à air comprimé, ce qui permet de faire passer la vitesse d'avancement de 75 centimètres à plus de 2 mètres par jour pour chaque front de taille. Les travaux du tunnel ne dureront ainsi que 14 années. La jonction des deux galeries aura lieu le 26 décembre 1870 avec une précision remarquable pour l'époque, de 40 cm en planimétrie et 60 cm en altimétrie. La France et l'Italie seront ainsi reliées par le rail pour la première fois le 17 septembre 1871, l'année même de la mort de Sommeiller, et cinq mois avant la liaison Menton - Vintimille. Les villes de Chambéry et d'Annecy honorèrent Germain Sommeiller en donnant son nom à des rues menant à leur gare. L'étonnant est que le tunnel fut achevé avant la jonction de la voie ferrée dans la vallée de la Maurienne entre Saint-Jean et Modane, si bien que le train inaugural vint de Turin jusqu'à Modane puis repassa le tunnel dans l'autre sens ! Cet ouvrage est appelé tunnel du Fréjus, du nom de la Pointe du Fréjus (2934 m) à l'aplomb de laquelle il passe. Il est parfois appelé improprement tunnel du Mont-Cenis et est aujourd'hui doublé d'un tunnel routier, construit de 1980 à 1986.

À l'Exposition universelle de Paris en 1855

Bourdalouë prend une part de plus en plus active à la vie de sa ville natale. Conseiller municipal, premier adjoint au Maire en 1854, il est inspecteur du travail des enfants dans les fabriques de Bourges et est membre du comité départemental du Cher pour la première Exposition universelle de Paris, en 1855. Son « Nivellement général du département du Cher » va y être exposé dans un meuble - sorte d'imposante bibliothèque de 4,50 mètres de hauteur - spécialement conçu et aménagé à cet effet.

— la face principale présente le département du Cher d'un seul tenant à l'échelle de 1/40 000, par l'assemblage des 21 planches de l'atlas,

— la face opposée, fermée par deux portes vitrées, comporte :

- en partie haute, des rayonnages permettant le rangement des 150 volumes des minutes, des 4 volumes de texte, 7 de correspondance, 5 de quittances et d'un volume-journal,
- à hauteur des yeux, les différents niveaux d'Égault, de Brunner, de Bourdalouë et le pantosymètre utilisés,
- en partie basse, l'atlas des 21 planches du département du Cher, et ceux des travaux de 1844 sur les plans inclinés automoteurs de Champclauzon, de 1847 sur l'isthme de Suez, et de 1852 sur le Mont-Cenis.

— la tranche est ornée d'une mire de nivellement,

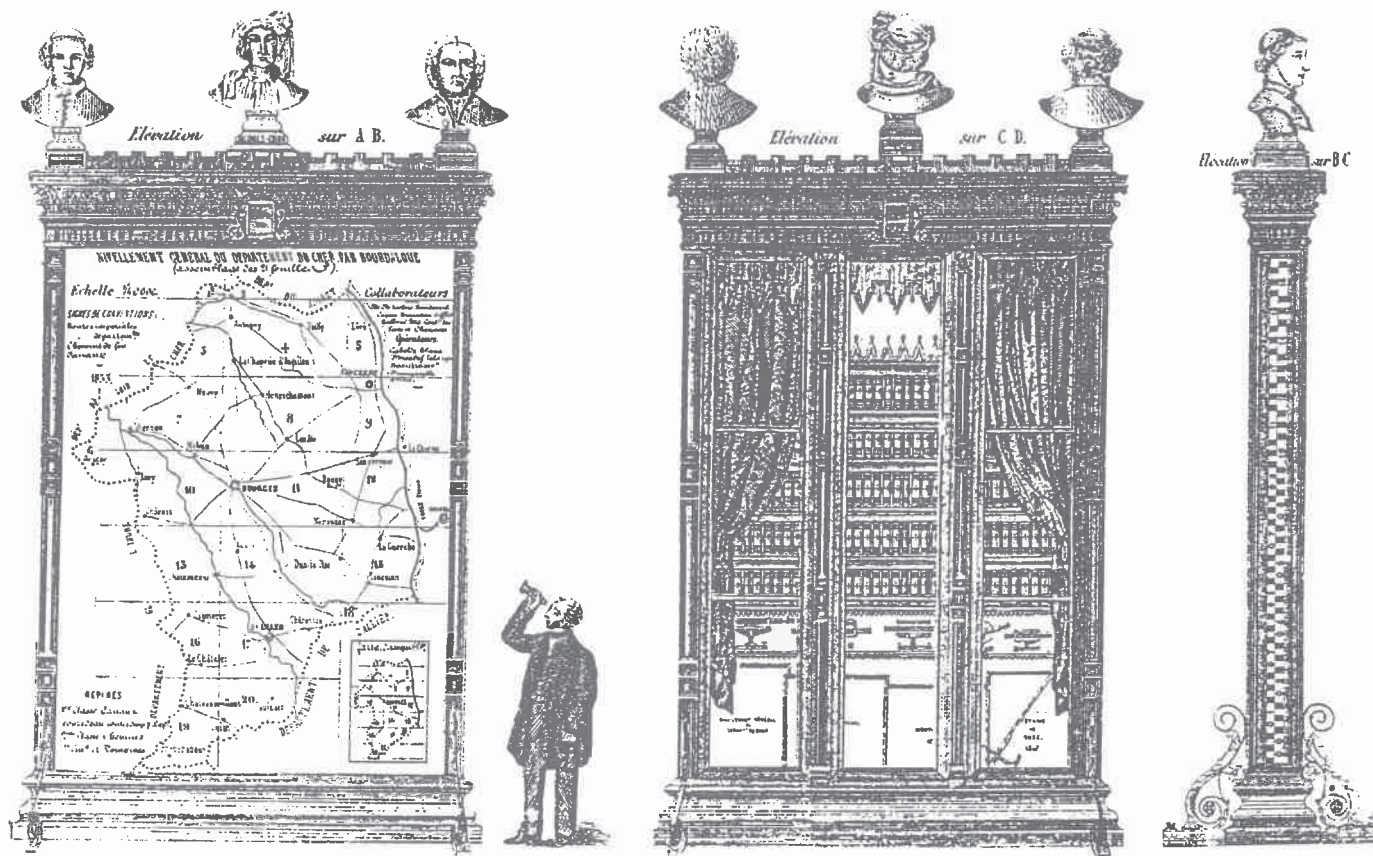


Figure 17 : Le meuble « Bourdalouë » à l'Exposition de 1855 (échelle 2 cm par m. La dimension est donnée par la taille d'un homme de 1,65 m).



Figure 18 : Médaille à l'effigie de P.A. Bourdalouë, frappée par la Monnaie de Paris en 1856, à la demande du Conseil général du département du Cher (vote du 2 septembre 1855). On remarque sur l'avvers comme sur le revers que le nom de Bourdalouë est écrit avec le tréma sur le « u » et non sur le « e » final.

— le dessus porte trois bustes :

- au centre, celui de Jacques Cœur (1395-1456), le grand argentier de Charles VII.
- à droite, celui de Joseph-Aignan Sigaud Lafond (né à Bourges le 5 janvier 1730, mort le 26 janvier 1810), chirurgien et physicien qui laissa des travaux célèbres « sur l'art de l'accouchement » et devint le premier proviseur du premier lycée de Bourges dans lequel enseigna le père de Paul-Adrien Bourdalouë. Il étudia l'hydrogène en 1776, en reconnaissant sept ans avant les travaux de Lavoisier, que sa combustion donnait de l'eau. Son nom a été donné à une rue de Bourges.
- à gauche, celui du célèbre prédicateur Louis Bourdaloue (sans tréma) de l'ordre des Jésuites, né à Bourges en 1632, avec lequel notre Paul-Adrien laissait volontiers entendre qu'il était apparenté. Nous allons y revenir.

Ces deux derniers bustes, commandes de la ville de Bourges, œuvres du sculpteur Jules Dumoutet, né à Bourges et ayant son atelier à Dun-sur-Auron (anciennement Dun-le-Roi), ornent aujourd'hui les jardins de l'archevêché à Bourges.

Mais revenons au travail exposé. La notice précise :

Les avantages que doit procurer cet ouvrage ont déterminé M. Bourdalouë, à s'imposer la lourde charge de son exécution. Désormais, dans le département du Cher, tous les projets de grande utilité publique, tels que routes, chemins de fer, dérivations des cours d'eau, canaux, irrigations, assainissements, dessèchements, drainages, etc., etc., pour-

ront être étudiés, du cabinet même, sans frais, sans difficultés, et d'une manière certaine.

L'auteur fait don de ce travail à son département, à ses concitoyens, comme témoignage de son dévouement.

M. Bourdalouë, en le présentant à l'Exposition universelle, espère que les autres départements, excités par son exemple, feront dresser de semblables cartes dans l'exécution desquelles il leur sera facile, par l'étude et l'examen de son travail, d'introduire de grandes améliorations et d'opérer des économies.

Pour ce travail exemplaire, Bourdalouë obtient la Médaille d'Honneur de l'Exposition universelle, ainsi que deux autres médailles décernées l'une par le Département du Cher, l'autre par la ville de Bourges.

Bourdaloue et Bourdalouë

Nous venons d'évoquer Louis Bourdaloue, le prédicateur. Il prêcha à Versailles devant la Cour de 1670 à 1693 et dans quelques églises parisiennes ainsi qu'à Montpellier en 1685-86, envoyé là par Louis XIV pour rétablir l'unité de religion dans le royaume après la révocation de l'Édit de Nantes (18 octobre 1685). Il mourut à Paris en 1704 et fut inhumé dans la crypte de l'église Saint-Paul à Paris, aujourd'hui Saint-Paul - Saint-Louis, dans la quartier du Marais.

Son nom est passé à la postérité pour désigner soit un ruban attaché par une boucle, entourant la forme d'un chapeau comme en portaient les ecclésiastiques, soit aussi un type de pot-de-chambre de forme oblongue, allusion à l'objet que les fidèles amenaient, paraît-il, à l'office pour la satisfaction de besoins bien naturels, tellement étaient longs les sermons du prédicateur, soit encore une tarte aux poires pochées sur fond de crème d'amande, spécialité d'un pâtissier installé à l'époque devant l'église parisienne Notre-Dame-de-Lorette. Cette église fut démolie en 1800 et remplacée à une centaine de mètres plus à l'ouest, par une autre construite de 1823 à 1826. Le nom de Bourdaloue fut alors attribué à la rue nouvelle bordant l'édifice par l'ouest où, bien entendu, une pâtisserie s'ouvrit aussitôt à l'enseigne de Bourdaloue ; mais on peut s'interroger si ce n'est pas plutôt pour rappeler le lieu de naissance de cette gourmandise qu'en souvenir du prédicateur.

En 1846, le nom du prédicateur a également été donné à une rue de Bourges, mais en 1902, par un anticléricalisme alors de mode, il fut remplacé par celui d'Émile Zola qui venait de décéder, et cela en bonne compagnie d'ailleurs, avec Saint-Étienne lui-même qui dut céder sa place devant sa cathédrale, à Étienne Dolet (remarquons toutefois que les édiles d'alors ont eu la délicatesse de choisir une personne de même prénom !).

Un essai sur Paul-Adrien Bourdalouë, ses ascendants et ses collatéraux, a été écrit en 1903 par le Vicomte de LAUGARDIERE [E 1]. En fait, il semble que le document ait été écrit pour montrer qu'il n'y

a pas de lien de parenté prouvé entre le prédicateur et l'ingénieur. Pour cela, l'auteur remonte les généalogies, uniquement par les ascendants mâles puisqu'il y a conservation du patronyme. Il donne :

— Paul-Adrien Bourdalouë descend au neuvième degré de Raymond Bourdalouë qui devait être né au plus tôt dans les dernières années du XV^{ème} siècle.

— Le prédicateur était lui-même issu au huitième degré de Macé Bourdalouë.

Il ne trouve pas d'aïeul commun et n'y voit qu'une homonymie.

La conclusion est peut-être un peu hâtive, car le religieux né à Bourges en 1632, n'ayant eu qu'une sœur, il fallait de toute façon remonter à son grand-père paternel, né vraisemblablement vers 1570. Or la généalogie de Paul-Adrien ne remonte que vers 1500. Le recouvrement n'est que de deux générations en-deçà du grand-père du prédicateur. On peut seulement affirmer que s'il y a un ancêtre commun, il faut remonter à au moins cinq degrés à partir du religieux. Paul-Adrien ne peut donc au mieux, que se prévaloir d'un cousinage très éloigné.

Mais avec le même nom, originaire d'une même ville, il reste vraisemblable qu'ils aient un ancêtre commun. Il n'est toutefois pas raisonnable de parler de parenté au-delà d'un nombre aussi élevé de degrés. C'est ce qu'a démontré le Vicomte.

Un autre aspect du document de Laugardière est de montrer l'insistance de Paul-Adrien de faire état de sa parenté avec le religieux. En effet, à propos du mariage de Berthe BOURDALOUE-REGNAULDIN, le 23 août 1860, le Vicomte Charles de Laugardière fait état de l'intervention de son oncle Paul-Adrien pour que ce mariage ait lieu à Paris en l'église Saint-Paul - Saint-Louis, là-même où dans la crypte, repose depuis 1704 le prédicateur, et y voit une intention délibérée de faire entériner sa parenté avec lui d'autant, rapporte-t-il, qu'il en profita pour apposer une plaque dans cette église.

La plaque, toujours visible de nos jours sur la face sud du pilier nord-est de la croisée du transept, porte l'inscription suivante :

HIC JACET - BOURDALOUE
1632 - 1704 - Pos. 1843

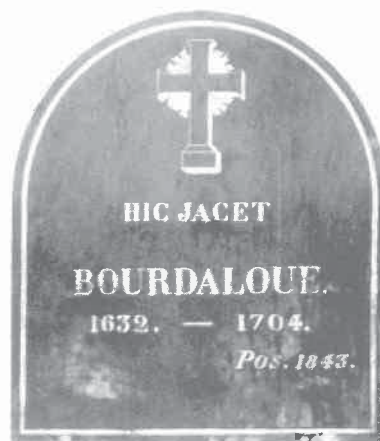


Figure 19 : Plaque à la mémoire du Prédicateur Louis Bourdaloue (Ci-gît ...), posée en 1843 par P.A. Bourdalouë en l'église Saint-Paul - Saint-Louis à Paris.

Cette plaque, offerte par Paul-Adrien Bourdalouë est donc datée de 1843. Or cette date ne correspond pas à celle du mariage, mais à celle de la naissance de sa nièce Berthe, à Courson (Yonne). La plaque aurait peut-être été apposée à l'occasion du baptême, ce qui indiquerait que cette église parisienne aurait déjà été choisie une première fois pour cette cérémonie.

Laugardière conclut, en parlant de Paul-Adrien : « Par sa manière d'agir, par les anecdotes qu'il se plaisait à raconter dans l'intimité, il n'avait pas peu contribué à créer la fallacieuse légende de sa parenté, assez proche, avec le maître de la chaire du XVII^e siècle ».

Nivellement général de la Loire

Après la grande crue de la Loire d'octobre 1846, un programme officiel d'études du fleuve est arrêté par une commission d'Inspecteurs-généraux des Ponts et Chaussées, et un Service spécial de la Loire est créé sous la direction de Monsieur Coumes, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées.

A son initiative, des bornes repères sont implantées en 1848 et 1849, sur les deux rives du fleuve et sur les levées de terre, et des échelles de crues sont scellées près des ponts. Les bornes repères sont de section quadrangulaire 40 x 40 cm et de hauteur apparente 55 cm et autant dans le sol. Une arête est tournée en direction du fleuve et les faces adjacentes de chaque côté, sont refouillées par des évidements de deux centimètres de profondeur, destinés à recevoir des plaques en zinc portant le numéro et les distances à la mer et au méridien de Paris qui coupe la Loire entre Sully et Saint-Benoît-sur-Loire. Sur les deux rives, à partir d'une borne de numéro zéro située sur le méridien, la numérotation est continue, assortie de la lettre M pour « Montant » vers l'amont jusqu'à la limite des départements de la Loire et de la Haute Loire, ou de la lettre D pour « Descendant » vers l'aval jusqu'à Saint-Nazaire.

Des bornes kilométriques, de forme cylindrique de 30 cm de diamètre sur embase carrée de 35 x 35 cm, avaient été implantées sur les deux rives entre 1841 et 1844, conséquence de l'adoption obligatoire du système métrique à partir du 1^{er} janvier 1840. Sur la rive gauche, leur numérotation est continue de Iguerande, limite des départements de la Loire et de la Saône-et-Loire, à 25 kilomètres en aval de Roanne, jusqu'en face de Saint-Nazaire (km 698). Sur la rive droite, la numérotation est continue à partir de la limite amont de chaque département.

Une triangulation est exécutée le long du fleuve de 1846 à 1850 par Auguste Grenier, triangulateur du Cadastre. Elle « est rattachée aux opérations géodésiques du 1^{er} ordre servant de base au canevas de la nouvelle carte de France du Dépôt de la Guerre et les coordonnées rectangulaires de chaque point sont déterminées sur des parallèles à la Méridienne de Paris ». En fait, la projection utilisée pour le canevas de la nouvelle carte, la projection

de Bonne, est non conforme et ne convient pas pour le calcul direct des triangles dans le plan. Une triangulation principale est alors rattachée aux seules données de la flèche de la Cathédrale Sainte-Croix d'Orléans, point de 1^{er} ordre de la méridienne, dont les distances au méridien (31 859,50 m) et à sa perpendiculaire passant par l'Observatoire de Paris (103 804,97 m), ont été déduites de sa latitude et de sa longitude d'après les formules de la géodésie de Puissant et dont la convergence de son méridien avec celui de Paris (0°18'58''63) a été déduite au moyen des azimuts sur Beaugency et sur Château-neuf. Les résultats sont consignés dans un registre qui donne pour chaque triangle fermé à 180°, la valeur arrondie des angles à 10'' et, au centimètre, la longueur des côtés et les distances des sommets au méridien et à sa perpendiculaire passant par l'Observatoire de Paris. Une triangulation de détail permet alors de donner au centimètre, la position planimétrique des bornes repères et des bornes kilométriques. Les plans topographiques de la Loire portent, sans doute pour la première fois en cartographie, un quadrillage kilométrique.

Monsieur Collin, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, remplace Monsieur Coumes en mars 1852, comme chef du Service spécial de la Loire. Il propose le 13 juillet 1854, d'exécuter des nivellements le long du fleuve en se référant au niveau moyen de la mer à Saint-Nazaire. Au vu de ce rapport, le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, décide le 5 septembre 1854 que : *le niveau moyen de la mer, qui doit servir de plan de comparaison aux Nivellements et profils relatifs aux études de la Loire, sera fixé à la cote 3 mètres de l'échelle de Saint-Nazaire*. On remarque que, pour la première fois, la référence au niveau moyen de la mer est adoptée.

Le 13 janvier 1855, M. Collin propose de niveler, entre Saint-Nazaire et Briare dans un premier temps, soit sur un parcours d'environ 450 kilomètres, le sommet de toutes les bornes repères et bornes kilométriques du fleuve ainsi que les échelles de crues. La proposition est approuvée par le Ministre le 7 mars. Bourdalouë propose ses services dès le 20 mars, par un traité ainsi libellé :

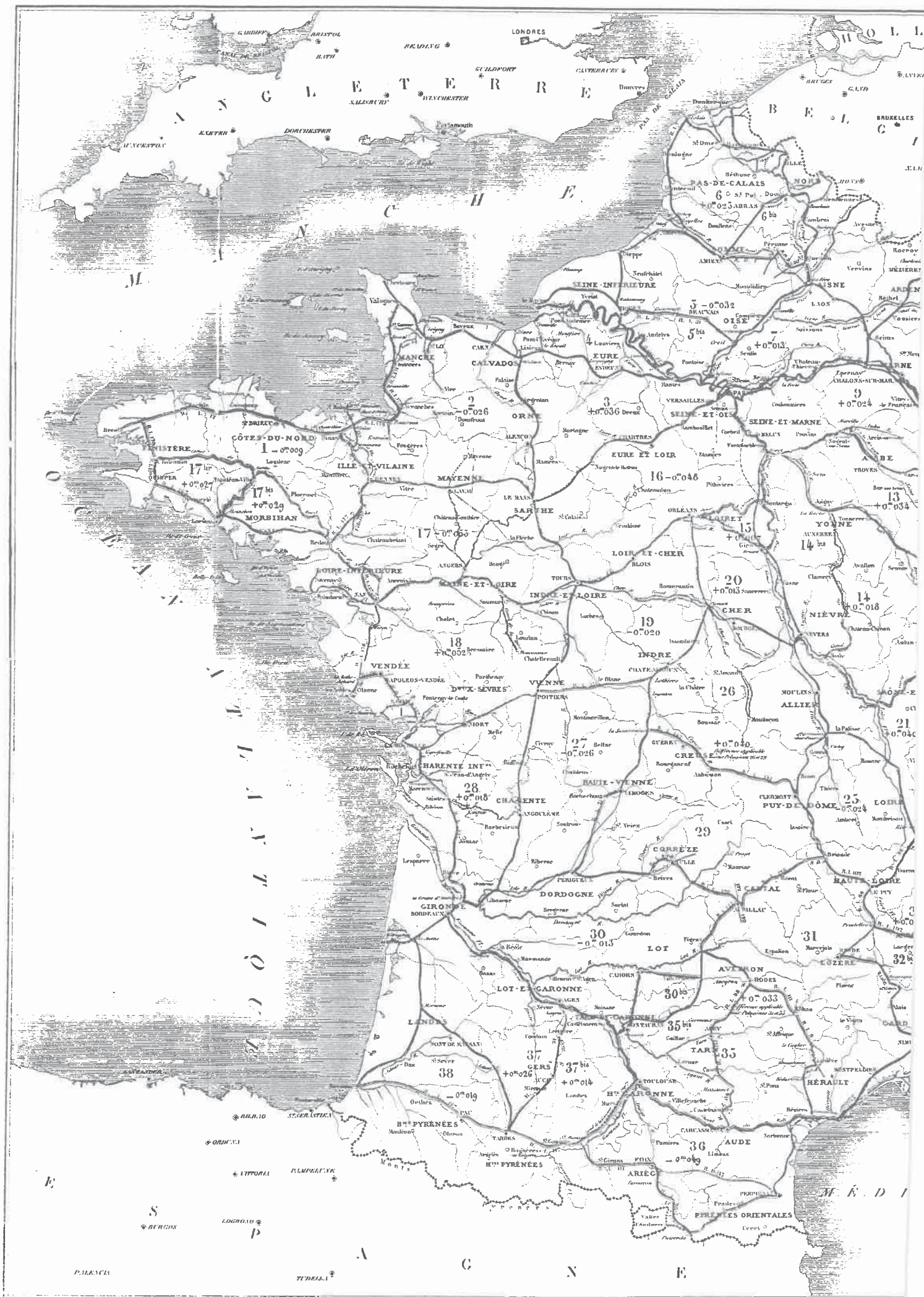
Je, soussigné, Paul-Adrien Bourdalouë, me charge de faire exécuter le Nivellement de précision de la Loire (Partie comprise entre la mer et Briare.)

La précision sera telle qu'une différence dépassant 5 centimètres ne pourra exister d'un point extrême à l'autre.

La tolérance pour chaque kilomètre ne pourra excéder cinq millimètres sans qu'ils viennent s'ajouter.

Trois lignes se vérifiant entre elles seront faites avec les plus grands soins : deux remonteront le fleuve en partant de Saint-Nazaire et bifurqueront à Nantes pour suivre chaque rive ; une troisième, servant de contrôle aux deux autres, sera faite en sens inverse, c'est-à-dire de Briare à Saint-Nazaire.

Les deux lignes remontant le fleuve auront pour but principal le Nivellement des bornes-repères de chaque rive ; la troisième ligne relèvera les bornes kilométriques d'une rive.



NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE

RÉSEAU DES LIGNES DE BASE

suivant lesquelles les opérations de nivellement ont été effectuées
et dont le tracé est marqué sur les lieux par des repères métalliques
invariables, établis à raison d'un repère par Kilomètre

Chacune de ces Lignes a été l'objet de six nivellements au moins.

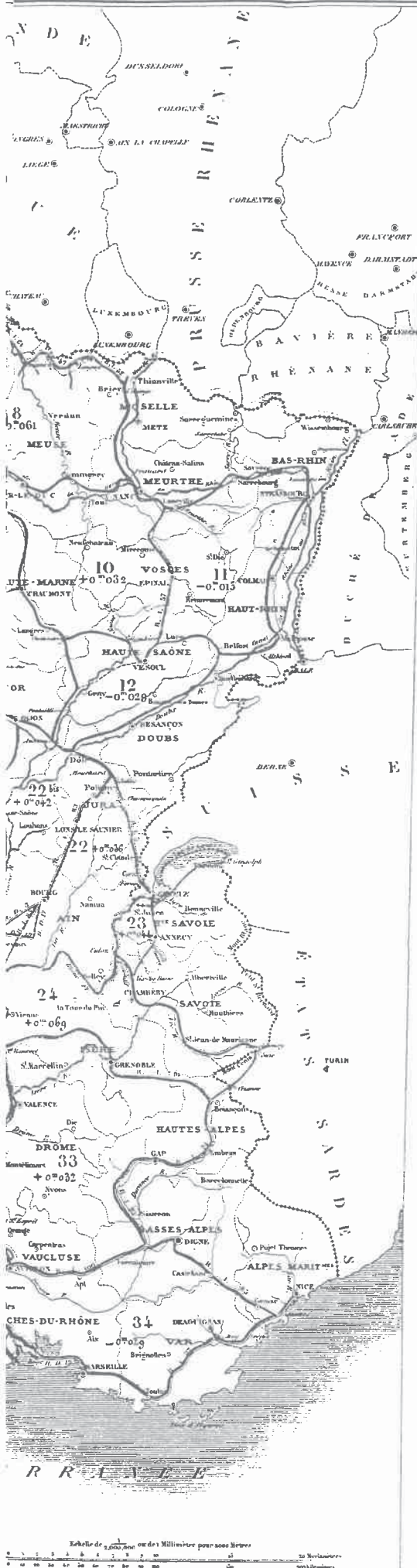
Les éléments détaillés sont contenus dans mille volumes in 8°

ECHELLE DE $\frac{1}{4,000,000}$ soit un millimètre pour 4 Kilomètres.

LÉGENDE

Les gros numéros écrits sur la Carte indiquent le classement des Polygones

Lignes indiquant les Polygones
Limite de la France	+++++
— id. — des Départements	-----
Chemins de Fer	<div> <div>exécutés</div> <div>en exécution ou concédés</div> </div>
Routes	<div> <div>Impériales</div> <div>Départementales</div> </div>
Fleuves et Rivières	~~~~~
Canaux	~~~~~
Chefs-Lieux de Départements	●
— id. — d'Arrondissements	○
— id. — de Communes	•



Ces trois lignes de Nivellement se croiseront aux principaux travaux d'art pour y prendre les échelles et les points remarquables.

Dans tous les cas, elles devront, comme vérification, avoir un point commun tous les vingt kilomètres ...

Les opérations commenceront le 1^{er} avril 1855 et devront être terminées, à moins de pluies extraordinaires, le 1^{er} août suivant.

Tous les frais occasionnés pour les opérateurs de terrain, la fourniture des instruments et des carnets, la reliure des volumes, l'impression et la brochure des tables, seront à la charge de M. Bourdalouë.

L'unité, pour le paiement des opérations, sera le kilomètre de Nivellement de chaque ligne, lequel sera payé neuf francs (9 fr.). ...

Le traité est approuvé par le Ministre le 12 avril 1855. La campagne commence aussitôt le 14 avril. Début août, dans le délai prévu, toutes les lignes sont nivelées mais de nombreuses reprises s'avèrent nécessaires. En raison de conditions météorologiques très défavorables, la campagne ne sera close que le 3 décembre. Pour la vérification, les trois lignes sont reliées entre elles aux 28 ponts sur la Loire. Les opérations sont exécutées avec des appareils fabriqués sur le modèle du Niveau Bourdalouë, décrit dans le 3^e volume du Nivellement du département du Cher, mais plus rigides et avec des grossissements de la lunette de 75 à 80 fois. En fait, les bornes kilométriques des deux rives sont nivelées. Toutefois, il n'a été scellé et nivelé aucun repère de nivellement, contrairement à ceux que Bourdalouë avait établis à Bourges en 1850 et encore moins d'indicateur, ce qui rendra l'identification ultérieure des points naturels nivelés, autres que les bornes, tels que seuils de porte ou angle de maçonnerie, souvent aléatoire.



Figure 20 : Les bornes de la Loire, nivelées par P.A. Bourdalouë en 1855. Ici entre Meung-sur-Loire et Saint-Ay (Loiret) sur la rive droite, en aval d'Orléans, la borne repère 66 D et la borne kilométrique 113.

Bourdalouë apporte un soin extrême aux opérations et les réitère si besoin est jusqu'à ce que les résultats n'aient plus laissé de doute quant à la précision désirable pour une aussi grande ligne qui doit être une des bases du Nivellement général de la France. Pour lui en effet, ce nivellement est un spécimen sur une grande échelle, exécuté avec les instruments et les méthodes les plus perfectionnés, qui doit éclairer l'administration des Ponts et Chaussées sur la valeur d'une opération qui doit servir de base et de point de départ au Nivellement général de la France.

Mais comme pour les nivellements exécutés dans les départements du Gard et du Cher, faute d'un nivellement d'ensemble du territoire, les altitudes originelles sont sinon arbitraires, tout au moins indépendantes. Bourdalouë fait remarquer à ce sujet, que l'adoption d'un plan de comparaison coïncidant avec le niveau moyen de la mer à l'embouchure de tel ou tel fleuve, conduira toujours à des contradictions, eu égard à la variation de ce niveau en passant d'un fleuve à un autre et d'une mer à l'autre. Pour remédier à cet inconvénient capital et assurer au Nivellement de la France, une exactitude digne d'un si important objet, M. Collin propose de rattacher toutes les opérations d'altitude à un plan unique de comparaison qui passerait à 100,00 mètres au-dessous d'un repère central à établir dans la cour de l'Observatoire de Paris.

Les altitudes, données au millimètre, sont publiées dans le « Nivellement général de la Loire » - 1^{er} volume - de Saint-Nazaire à Briare en 1855 et rééditées en 1856 [10] après quelques retouches dues aux dégâts occasionnés par une nouvelle grande crue de la Loire, début juin 1856, aussi forte que celle de 1846. Le nivellement ne sera pas poursuivi en amont de Briare et il n'y aura pas de deuxième volume.

Nous verrons que ces résultats seront plus tard modifiés d'une constante, après l'incorporation du nivellement de la Loire dans le réseau des lignes de base du Nivellement général de la France et que, de ce fait, de nouvelles altitudes seront publiées en 1862, ce qui a parfois fait dater le nivellement de la Loire : 1854-1862.

Nivellement du Rhône

Le Service spécial de la navigation du Rhône, analogue à celui de la Loire, dirigé par M. Kleitz, ingénieur en chef, confie à Bourdalouë en 1856, le nivellement du fleuve entre la Méditerranée et Genève.

Des plaques-repères sont scellées et sont désignées dans les répertoires par une série de numéros commençant au n° 1 à la mer et finissant au n° 571 à Genève. Les altitudes de la tablette supérieure des plaques, sont rapportées au zéro de l'échelle du port de Marseille, placée près de l'Intendance sanitaire, origine déjà adoptée pour un nivellement municipal de la ville, sur plaques-repères. Contrairement au nivellement général de la Loire, la référence au niveau moyen de la mer n'est pas adoptée.

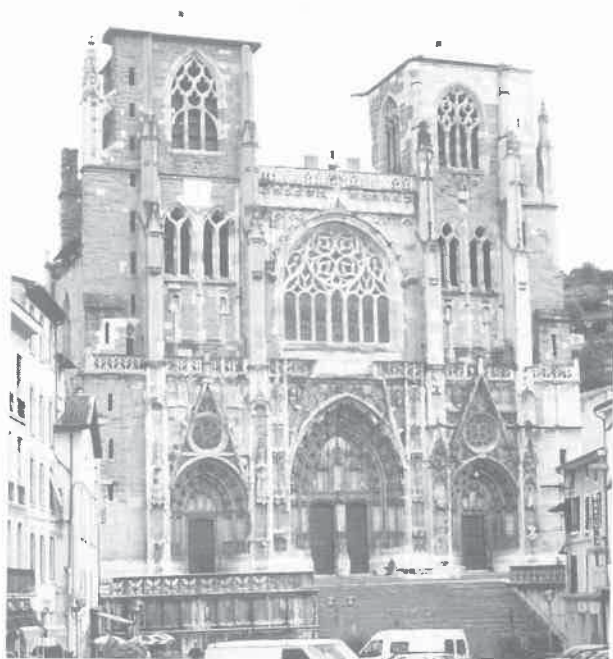


Figure 21 et 22 : Cathédrale Saint-Maurice à Vienne (Isère) et son repère « Nivellement du Rhône » n° 360. On remarque la date 1857 inscrite à la partie inférieure de ce type de repère. L'indicateur circulaire est du modèle adopté en 1858 pour les repères du Nivellement général de la France (voir ci-dessous), ce qui montre qu'il a été rapporté quelques années plus tard et d'ailleurs l'altitude 160,371 est bien dans la référence de ce nivellement, alors que l'altitude dans la référence « Nivellement du Rhône » est 160,830.

Le parcours a été divisé en deux parties :

- le bas-Rhône : de la mer à Arles par la rive gauche et d'Arles à Lyon par la rive droite,
- le haut-Rhône de Lyon à Genève, généralement par la rive droite, en se tenant à proximité du chemin de fer.

Les nivellements dans la Camargue et ceux d'Avignon à Valence ont été peu satisfaisants comme l'ont mis en évidence les discordances entre les trois doubles opérations qui atteignent 88 centimètres de la mer à Lyon, et ont exigé des reprises partielles ou même totales.

En revanche les résultats de la partie de Lyon à Genève ont été très satisfaisants.

Les répertoires sont publiés à Bourges en 1858 [11]. Ils indiquent les altitudes dans la référence « Nivellement du Rhône ».

Après la compensation du Nivellement général de la France en 1862, les repères reçoivent un indicateur portant leur nouvelle altitude dans la référence de ce Nivellement.

En même temps, sont exécutés les nivellements des villes de Lyon et Genève.

Nivellement de la Ville de Lyon

Lors de l'exécution du nivellement du Rhône, il existait déjà dans quelques rues de Lyon, des repères en fonte portant un numéro d'ordre, avec l'indication d'altitude. Le plan de comparaison pour ce premier travail était celui du chemin de fer de Lyon à Genève, à 163,000 m au-dessous du zéro de l'échelle fixée au mur de soutènement aval et près de la culée rive gauche du pont Tilsitt, sur la Saône, cote déterminée lors des levés de la carte d'État-major.



Figure 23 : Repère « Nivellement du Rhône » de la ville de Lyon, sur la prison Saint-Joseph, 12 quai Perrache, avec son indicateur portant l'altitude 167,356. En fait, cette indication est, comme à Vienne, dans la référence du Nivellement général de la France qui ne sera arrêtée qu'en 1862. L'altitude initiale de ce repère, portée dans les répertoires de 1858 est de 167,820, référence Nivellement du Rhône. L'écart de 464 mm est expliqué ci-après dans le paragraphe « Compensation du Nivellement général de la France ».

M. Bonnet, ingénieur en chef du Service municipal, décide de confier le nivellement de Lyon à Paul-Adrien Bourdalouë et de substituer à ce plan de comparaison, celui adopté pour le nivellement du Rhône, c'est-à-dire celui passant par le zéro de l'échelle des marées du port de Marseille. Le zéro du pont Tilsitt se voit ainsi attribuer la cote 160,783, soit de 2,217 mètres inférieure à celle adoptée précédemment.

Le nivellement est exécuté en 1857 sur les mêmes principes que celui du Rhône et sur de mêmes plaques métalliques. De petits polygones sont fermés au moyen d'opérations multiples avec précision, même dans les hauts quartiers de la ville, et reliés entre eux de manière à établir une complète solidarité entre les différentes parties du travail, et à prévenir ainsi tout motif d'erreur.

Sont ainsi posés et nivelés :

288 repères entre Rhône et Saône,
107 repères sur la rive droite de la Saône,
222 repères sur la rive gauche du Rhône.

Les répertoires sont publiés en 1858 [12]. Ils indiquent les altitudes dans la référence « Nivellement du Rhône ».

Après la compensation du Nivellement général de la France en 1862, les repères reçoivent un indicateur portant leur nouvelle altitude dans la référence de ce Nivellement.

Autres grands nivellements

D'autres grands nivellements sont entrepris : En 1856, sous la direction de M. Bazaine, Ingénieur en chef, un nivellement est effectué entre Paris (Observatoire) et Nevers, par Montargis et Briare, pour servir de base au nivellement du chemin de fer du Bourbonnais [13]. Puis un nivellement est effectué de Nevers à Moulins, Lapalisse, Roanne, Saint-Étienne et Givors, rejoignant ainsi le nivellement du Rhône. Le pont de Guetin sur l'Allier, juste en amont du confluent avec la Loire, à quelques kilomètres au sud de Nevers, devient un moment le nœud de jon-

tion et de comparaison des altitudes données par les nivellements venant de la Loire, du Rhône, de Paris et du Berry. Elles sont disparates. Sûr de la précision de ses nivellements, Bourdalouë attribue ces écarts aux discordances entre le niveau moyen de la mer à Saint-Nazaire, le zéro de l'échelle à Marseille, l'altitude attribuée à l'Observatoire de Paris et la cote de l'État-major de la cathédrale de Bourges. Il prône un nivellement général du pays.

Nivellement de la Ville de Bourges, pour l'adduction d'eau

Bourdalouë présente en 1857, une notice sur les eaux de la ville de Bourges [14]. Dans sa conclusion, paraphrasant les paroles d'un ministre qui disait que pour faire la guerre, il fallait trois choses : de l'argent, encore de l'argent et toujours de l'argent ! Bourdalouë énonce que pour faire les grandes cités, pour augmenter le bien-être des populations, il faut aussi trois choses : de l'eau ! encore de l'eau ! et toujours de l'eau !

Il aurait pu aller jusqu'au fond de sa pensée et dire que, pour faire de bonnes études et de bonnes réalisations des équipements publics, il fallait également trois choses : des nivellements, encore des nivellements et toujours des nivellements !

Le projet d'amener et de distribuer les eaux à Bourges est adopté. Sur le désir de M. Planchat, Maire de Bourges, par les soins de MM. les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, Bourdalouë est chargé d'exécuter en 1858, un nouveau nivellement de la Ville, afin de densifier les repères posés en 1850-54 lors du nivellement du département du Cher.

Bourdalouë pose et nivelle un grand nombre de repères, d'un type nouveau qui va être adopté pour le Nivellement général de la France et qui restera connu sous le nom de repère Bourdalouë. Toutefois, pour des raisons d'homogénéité et parce que le Nivellement général de la France n'était pas encore assez avancé, les altitudes portées par les indicateurs restent dans la référence du Nivellement du département du Cher.

Le Nivellement général de la France

En 1857, Bourdalouë est reçu par l'Empereur Napoléon III et lui présente ses travaux de nivellement de Suez et du département du Cher. Les travaux exécutés dans ce département lui ont en quelque sorte servi de terrain d'expérience, et surtout permis de prouver son savoir-faire. Il fait valoir tout l'intérêt d'un réseau de repères de nivellement « invariables » sur l'étendue de la France entière, rapportés à une même origine, utilisables par tous pour les travaux publics et autres. L'Empereur demande alors au Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, d'étudier la réalisation d'un réseau national de nivellement.

Par décision du 15 juin 1857, le Ministre charge Bourdalouë de l'exécution du Nivellement général de la France, qui comprendra deux opérations distinctes :

1° l'une, de haute précision, s'appliquant seulement aux lignes de bases destinées à servir de repères pour le nivellement de détail et, en même temps, à fixer le niveau moyen de la mer auquel toutes les altitudes seront rapportées ;

2° l'autre, de détail, au moyen de laquelle on rapportera, au plan de comparaison ainsi déterminé, autant de points de la surface du sol qu'il sera nécessaire pour en faire connaître le relief.

Cette deuxième opération, appelée aussi nivellement général des départements, ne sera entreprise que dans la mesure où il sera possible de rassembler un personnel assez nombreux et capable.

Le « traité » est assorti de quelques clauses qui en disent long sur le scepticisme que Bourdalouë

voyait poindre chez ses interlocuteurs et qu'il essaye de vaincre, tel un magicien qui pour mieux étonner son entourage explicite les difficultés :

Comme garantie de la vérité des opérations, tous les registres de terrain seront écrits à l'encre sans qu'aucune rature ni surcharge y puisse exister. Les opérateurs, en cas d'erreur d'inscription, devront de suite en faire mention en regard, en passant un simple trait sur l'écriture infidèle, et inscriront à la suite l'observation vraie.

Chaque carnet du registre sera remis journellement à la poste à l'adresse du Ministère, afin de recevoir, comme premier enregistrement, le timbre postal ; à cet effet, ils seront sans enveloppe, la couverture portant l'adresse ; ...

Ces registres seront aussitôt visés au Ministère, pour être expédiés, sans retard, au bureau central de Bourdalouë (les bureaux ne peuvent être établis à Paris : la dépense pour les loyers, chauffage et calculateurs triplerait) où ils seront calculés, et leurs résultats portés immédiatement sur des feuilles de balance ... qui seront adressées au Ministère pour y être visées.

Le Conseil Général des Ponts et Chaussées fait attribuer à Bourdalouë la réalisation du « réseau des bases » sur l'ensemble de la France continentale, pour un coût estimé de 460 000 Francs, aux frais de l'État avec le concours des compagnies de Chemin de Fer.

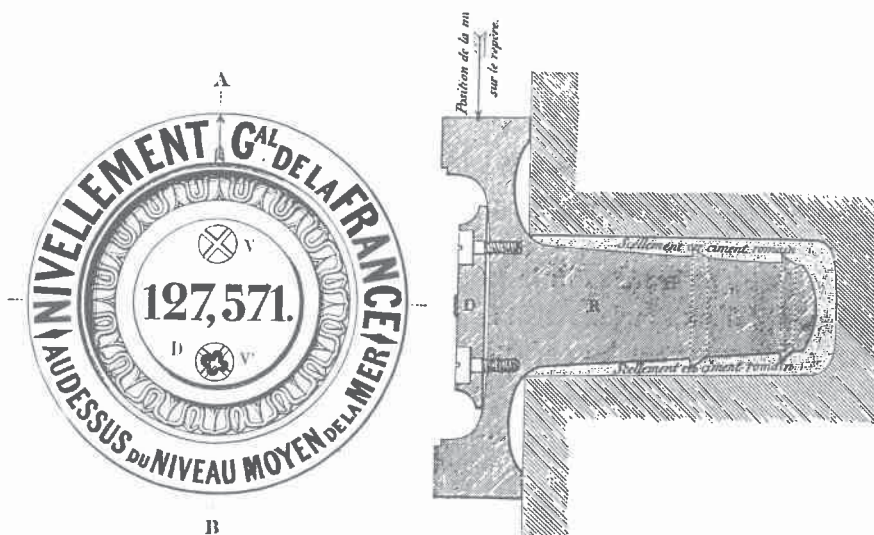
Bourdalouë reçoit le titre de Directeur des Travaux du Nivellement général de la France. Il a presque 60 ans. C'est le couronnement de sa carrière.

Il se met de suite à la tâche et conçoit un nouveau repère de nivellement.

Le repère de nivellement Bourdalouë

Bourdalouë présente ainsi son célèbre repère, décrit dans une circulaire ministérielle du 15 Novem-

Figure 24 : Le repère Bourdalouë du Nivellement général de la France (échelle 1/2).



bre 1858 [21] : en fer fondu, il se compose de deux pièces :

— le *repère* proprement dit, destiné à être scellé dans une maçonnerie au moyen de ciment romain, avant les opérations de nivellement. Il offre l'apparence d'un cylindre à axe horizontal de 127 millimètres de diamètre et de 30 mm d'épaisseur, avec un R gravé à la partie supérieure, là où doit être posée la mire, et portant sur la face verticale de la couronne l'inscription sur la moitié supérieure : « NIVELLEMENT G^{AL} DE LA FRANCE », et sur la moitié inférieure : « AU-DESSUS DU NIVEAU MOYEN DE LA MER ».

— l'*indicateur*, disque de 69 millimètres de diamètre, qui sera fixé ultérieurement par deux vis dans le creux ménagé au centre du repère, destiné à le recevoir après les opérations et les calculs du nivellement, et sur lequel l'altitude du repère sera inscrite, en mètres et millimètres par des chiffres en relief de 12 mm de hauteur. Il est donc sensiblement de même taille que celui accompagnant les premiers repères du nivellement du département du Cher. Après la pose de l'indicateur, un coup de burin est donné sur chaque tête de vis pour rendre la fixation définitive.

On note qu'il est précisé sur le repère lui-même, pour éviter toute ambiguïté, que l'altitude indiquée est au-dessus du niveau moyen de la mer.

Réseau des lignes de base

Le travail est exécuté de 1857 à 1864.

Les lignes de base du réseau sont prévues sur :

— les principaux fleuves : la Seine de Marcilly, près de Romilly-sur-Seine, à son estuaire Le Havre au nord et Trouville au sud, par incorporation des nivellements exécutés pour le Service spécial de la Seine entre Paris et la mer en 1858 [16] et la Marne de Vitry-le-François au confluent avec la Seine, la Loire de Briare à Saint-Nazaire par incorporation du nivellement de 1855, bien que non équipé de repères scellés, le Rhône de Genève à Lyon et d'Avignon à la mer, par incorporation d'une partie des nivellements exécutés pour le Service spécial du Rhône en 1856-57 [11] ;

— les canaux : canal du Loing et de Briare, d'Orléans, latéral à la Loire de Nevers à Digoin par Decize, du Nivernais de Decize à Auxerre, du Centre de Digoin à Chagny, de Nantes à Brest et du Blavet, latéral à la Garonne de Langon à Toulouse, et d'Arles à Bouc par incorporation d'un nivellement antérieur ;

— le fameux canal du Midi construit de 1666 à 1681 par Pierre-Paul de Riquet, joignant Toulouse à l'étang de Thau, par le seuil de Naurouze, Béziers et Agde ;

— les chemins de fer dont les grands itinéraires viennent juste d'être achevés, tels Paris - Strasbourg, via Châlons-sur-Marne et Nancy en 1854, et Paris - Méditerranée en 1855, nivelé de Montereau à Lyon via Dijon et Chagny, ainsi que Moret - Nevers - Saint-Étienne - Lyon, Romilly-sur-Seine - Troyes - Belfort - Mulhouse, Paris - Cherbourg, Paris - Le Mans - Rennes, Orléans - Limoges, Tours - Poitiers - Bordeaux - Bayonne ;

— les chemins de fer déjà empruntés lors de nivellements antérieurs dans le Midi, par incorporation de Marseille - Toulon, Tarascon - Nîmes - Alais - la Grand-Combe, et Nîmes - Montpellier - Cette - Agde ;

— de nombreuses routes, notamment celle de la vallée du Rhône par la rive droite : Lyon - Bagnols-sur-Cèze (R.I.86) et de là jusqu'à Avignon, ainsi que celle de Toulon à Antibes et Nice (la voie ferrée ne sera achevée qu'en 1864).

Le réseau des lignes de base forme 38 polygones fondamentaux (n° 1 à 38), dont un ouvert (n° 4), représentant 13 085 km de développement. Il passe, c'est de bonne cour, par Napoléon-Vendée, alias La-Roche-sur-Yon, et Napoléon-ville, alias Pontivy, créé en 1805 par Napoléon 1^{er} à côté de la cité médiévale. Quelques traverses supplémentaires totalisant 1 895 km, sont ajoutées, formant ainsi dix polygones supplémentaires (n° bis), afin de niveler les chefs-lieux de département qui ne se trouvent pas sur un polygone fondamental. Sont ainsi nivelés : Beauvais, Arras, Auxerre, Vannes, Quimper, Bourg-en-Bresse, Lons-le-Saunier, Cahors, Privas, Alby et Auch.

Les nivellements sont tracés de préférence le long des rivières, des canaux et des voies ferrées, en raison de la faible pente qui permet des portées régulières. Les repères sont espacés d'un kilomètre environ. 15 000 sont nivelés. Les portées entre station de niveau et mires sont de 125 à 130 mètres. Les divisions des mires parlantes sont de deux centimètres et il est fait usage de fiches d'acier plantées à coup de masse, comme points intermédiaires. La lunette du niveau a 48 cm de longueur focale, le diamètre de l'objectif est de 4 cm et l'amplification angulaire est de 36 fois.

Chacune des lignes principales est parcourue et nivelée trois fois par deux opérateurs observant indépendamment l'un de l'autre, soit six déterminations. En cas de désaccord notable, on procède à de nouvelles observations. La tolérance, pour les plus grandes lignes, c'est-à-dire le maximum d'écart

entre les six opérations qui au minimum sont faites, ne doit pas dépasser cinq centimètres et, pour le périmètre de la France, dix centimètres. L'écart moyen quadratique du résultat est estimé par Bourdalouë à un millimètre par kilomètre. Nous verrons plus loin ce qu'il faut en penser.

Nivellement de la Seine

Dans le cadre du Nivellement général de la France, le Service spécial de la Navigation de la Seine, analogue à ceux de la Loire et du Rhône, sous la direction de M. Chanoine, ingénieur en chef, confie à Bourdalouë en 1858, le nivellement du fleuve. Ce travail va en constituer une des lignes de base mais cette fois, des repères en fonte du type officiel, vont être scellés.

Le nivellement est divisé en quatre parties :

- 1^{re} section, en amont de Paris, de Marcilly-sur-Seine situé au confluent de l'Aube, jusqu'à l'entrée du fleuve dans Paris, alors au pont de Bercy :

Le fleuve et ses canaux de dérivation sont balisés par des bornes de navigation implantées sur les berges, tous les demi-kilomètres de Marcilly (km 193) à Montereau-fault-Yonne (km 101,5), indiquant la distance depuis Paris (pont de la Tournelle), et tous les 400 mètres de Montereau à Paris, numérotées d'amont en aval de 1 (aval du confluent de l'Yonne) à 247 (amont du pont de Bercy).

Les repères de nivellement sont scellés sur les ouvrages, sur un certain nombre de bornes kilométriques et pratiquement sur une borne de navigation sur trois. En outre, des points de repère naturels ainsi que le sommet de toutes les bornes kilométriques ou de navigation sont nivelés.

La ligne de nivellement emprunte :

- la rive droite, de Marcilly à Nogent-sur-Seine et à Bray-sur-Seine,
- la rive gauche, de Bray à Montereau,
- la rive droite, de Montereau à Saint-Mamès et à Valvins (près Fontainebleau),
- la rive gauche, de Valvins à Paris, par Melun et Corbeil.

Le nivellement est exécuté en 1859.

Cette même année, les canaux du Loing, de Briare et d'Orléans sont nivelés et constituent les lignes de base reliant à Saint-Mamès, le nivellement de la Seine à celui de la Loire.

- 2^e section, dans Paris, du pont de Bercy à Auteuil (aval du pont de Grenelle) :

De nombreux repères de nivellement sont scellés sur les quais des rives gauche et droite du fleuve, sans oublier celles des îles Saint-Louis et de la Cité, au droit notamment des culées amont et aval de tous les ponts.

À Paris, il existait depuis un certain temps, des petites plaques de nivellement de la ville de Paris, de format rectangulaire 10 x 15 cm, agrémentées de la nef, armoiries de la ville, portant simplement

Figure 25 : Carte du réseau des lignes de base
(voir double page centrale).

un numéro et sans indication d'altitude. Le 21 janvier 1839, le Préfet de la Seine avait chargé une commission présidée par François Arago, de fixer « la différence du zéro de l'échelle du pont de la Tournelle au niveau moyen de la mer ». Le 26 février 1842, cette commission donnait le résultat : 26,25 m, en fait la moyenne arithmétique entre quatre cotes assez disparates, fournies par quatre membres de la commission, dont pour trois d'entre eux, par des dénivelées trigonométriques depuis le niveau moyen de la mer à Cancale, Brest et Cherbourg, et pour le quatrième par un nivellement direct soigné depuis celui du Havre.

Puis, conformément à des arrêtés du 14 juillet 1847 du Comte de Rambuteau, et du 31 mai 1856 du Baron Haussmann, des plaques-repères en fonte étaient scellées et nivelées. Elles sont de deux types :

- des plaques dans Paris, de format rectangulaire 24 x 20 cm, « aux armes de la ville, placées aux carrefours, aux angles des rues, sur les soubassements des monuments, sur les murs des quais et sur les autres points jugés nécessaires ». Elles portent une triple indication : l'altitude au-dessus de l'étiage du pont de la Tournelle, l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer obtenue en ajoutant la cote 26,25 de l'étiage, et la dénivellation dite « nivellement de Paris », au-dessous ou au-dessus d'un plan de référence situé à 50 mètres au-dessus d'un point situé à proximité du bassin de la Villette, lui-même à 1,50 mètre au-dessus du plan d'eau, et coté 25,24 mètres au-dessus de l'étiage du pont de la Tournelle, soit au total à 75,24 mètres au-dessus de l'étiage ;

- des plaques du nivellement général du département de la Seine, sur les bornes kilométriques en fonte des routes nationales dans et hors Paris et sur un certain nombre d'édifices en dehors de Paris, portant une triple indication : l'altitude au-dessus de l'étiage du pont de la Tournelle, l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer obtenue en ajoutant la cote 26,25 de l'étiage, et la dénivellation dite « nivel-



Figure 27 : Échelles du pont de la Tournelle. Le zéro de l'échelle a d'abord été fixé en 1842 par la commission Arago à 26,25 au-dessus du niveau moyen de la mer. Bourdalouë lui affecte l'altitude 26,285. L'altitude 25,62 indiquée actuellement pour le zéro de l'échelle, a été inscrite plus tard dans la référence du Nivellement Lallemand. La grande crue du 28 janvier 1910 a atteint 8,25 au-dessus du zéro.



Figure 26 : Repère de la ville de Paris situé sur le parapet du quai de la Tournelle, à l'angle amont de l'entrée rive gauche du pont de l'Archevêché. Nivelé par Bourdalouë en 1858, il lui attribue l'altitude 35,515.



Figure 28 : Repère du nivellement de la Seine, situé à Paris sur la culée rive gauche aval du pont de l'Archevêché, port de Montebello. posé et nivelé dans le cadre du Nivellement général de la France, par Bourdalouë en 1858, avec l'altitude 30,844. Le service du nivellement de Paris ajouta ensuite une plaque indiquant la dénivellation 70,681, dite « nivellement de Paris ».

lement général » au-dessous d'un plan de référence situé à 200 mètres au-dessus du point de référence du bassin de la Villette, soit au total à 225,24 mètres au-dessus de l'étiage.

Bourdalouë exécute en 1858-59, le nivellement des repères qu'il venait de sceller et en même temps, il nivelle un certain nombre de plaques de nivellement de la ville de Paris et du département de la Seine, ainsi que l'échelle gravée sur l'île Saint-Louis, à l'amont de la culée rive droite du pont de la Tournelle.

De son côté, et réciproquement si l'on peut dire, la Ville appose à côté de certains repères Bourdalouë, des plaques portant en relief la dénivellation dite « nivellement de Paris » qui, comme nous l'avons vu, est la distance verticale sous le plan horizontal situé à 75,24 m au-dessus du zéro de l'échelle du pont de la Tournelle.

- 3^e section, en aval de Paris, d'Auteuil à Rouen.

Le fleuve est balisé par des bornes kilométriques implantées sur les berges, indiquant la distance depuis Paris (pont de la Tournelle) jusqu'à Rouen (km 242). Le nivellement est exécuté en 1858-59.

La ligne de nivellement emprunte :

- la rive gauche, de Paris à Asnières.
- la rive droite, d'Asnières à Triel par Conflans fin d'Oise,
- la rive gauche, de Triel à l'écluse d'Amfreville (en amont de Pont-de-l'Arche), par Mantes et Vernon.
- la rive droite, de l'écluse d'Amfreville à Rouen.

- 4^e section, de Rouen à la mer.

La ligne de nivellement, exécutée en 1860, emprunte de Rouen à Quillebeuf :

- la rive gauche, de Rouen à Grand-Couronne (km 254)
- la rive droite jusqu'au km 263
- la rive gauche jusqu'à Duclair (km 278)
- la rive droite jusqu'au km 288
- la rive gauche par Caudebec (km 309) jusqu'au km 314
- la rive droite jusqu'à Quillebeuf (km 332)

de Quillebeuf au Havre : la rive droite de l'estuaire, de Quillebeuf à Trouville : la rive gauche de l'estuaire.

Les résultats entre Paris et Le Havre, sont publiés en 1859 sans attendre l'achèvement du réseau national, en altitudes « nivellement de Paris », avec référence à 75,24 m au-dessus de l'étiage du pont de la Tournelle.

L'ensemble est publié à Bourges en 1861 [16].

En même temps, un nivellement de précision est exécuté en 1860, dans la Ville de Rouen.

Le Zéro des altitudes

Fin 1859, le réseau des bases est suffisamment avancé pour pouvoir comparer les niveaux moyens de la mer en différents ports. Des antennes sont

poussées jusqu'aux échelles marémétriques de Marseille, Cette (orthographe d'époque, devenu Sète en 1927), Bayonne, Arcachon, Bordeaux, La Rochelle, Les Sables d'Olonne, Saint-Nazaire, Saint-Malo, Cancale, Granville, Cherbourg, Carentan, Le Havre, Dieppe, Boulogne, Calais et Dunkerque où le niveau de la mer est observé.

1 ^{re} MÉDITERRANÉE.	
Marseille (mer moyenne) 0 ^m ,40 en contre-haut du zéro de l'échelle, en marbre, des marées placée à l'entrée du bassin de radoub, dans l'ancien port et près de l'Intendance maritime.	0,000
Toulon	0,057
Cette	0,114
Agde	
2 ^e Océan.	
Bayonne	0,856
Arcachon	0,600
Bordeaux	1,435
Rochefort	0,993
La Rochelle	0,277
Les Sables-d'Olonne	0,389
Saint-Nazaire	0,717
Lorient	
Brest	
Saint-Malo	0,945
Cancale	1,097
Granville	0,890
Cherbourg	0,895
Carentan	0,857
Le Havre	0,211
Dieppe	0,579
Boulogne	0,856
Calais	0,755
Dunkerque	0,776

Figure 29 : Niveaux des mers moyennes en différents ports, rapportés à celui de Marseille.

Une commission est chargée par le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics d'étudier ces résultats. Elle fait observer que le niveau moyen de la mer ne paraît pas être le même dans les différents ports, soit de la Manche, soit de l'Océan, où il semble nettement plus élevé qu'en Méditerranée. Déjà lors de l'étude de l'isthme de Suez, le niveau moyen de la Méditerranée avait été trouvé plus bas que celui de la Mer Rouge et cela pouvait bien être la conséquence d'une différence de salinité.

Considérant également les incertitudes que présente la question des marées et remarquant que le niveau moyen de la mer à Cette concorde à 37 mm près avec celui de Marseille, la commission propose de décider que le niveau moyen auquel les altitudes du Nivellement général de la France devront être rapportées, sera celui de la Méditerranée, tel qu'il est établi à Cette et à Marseille ; c'est-à-dire, dans la première ville, à 37 cm au-dessus de l'échelle du môle Saint-Louis, et, dans la seconde, à 40 cm au-dessus du zéro de l'échelle des marées. C'est donc par une heureuse circonstance, pour ne pas avoir d'altitudes négatives en d'autres points des côtes françaises, que le point fondamental est ainsi proposé sur le rivage d'une mer dont les marées sont très faibles.

Le Conseil général des Ponts et Chaussées consulté, est d'avis que pour éviter toute cause d'erreur et de confusion, le niveau moyen de la mer doit être fixé par un repère unique, et qu'il y a lieu de placer à Marseille ce repère qui consistera en un ouvrage stable, apparent et à l'abri de toute cause de perturbation.

Par une décision du 13 Janvier 1860, le Ministre approuve l'avis du Conseil général des Ponts et Chaussées, et demande à M. Breton de Champ, ingénieur des Ponts et Chaussées, chargé du contrôle du Nivellement général, de se concerter avec M. Bourdalouë pour la pose du repère qui doit être établi à Marseille. Ainsi est déterminé *le point d'où partira le plan horizontal de comparaison pour toute la France, c'est-à-dire la mer moyenne la plus basse de toutes nos côtes, celle de Marseille.*

En fait à Marseille, quelque temps auparavant, le service topographique de la ville avait scellé sur un certain nombre d'édifices, des repères en forme de plaques murales présentant une face supérieure horizontale, et les avait nivelés en prenant pour origine des altitudes, le trait zéro de l'échelle des marées du port. L'un de ces repères, portant le n° 801, était situé à proximité de cette échelle, *sur le port, au bas à droite des degrés donnant accès dans la rue de la Fontaine-Rouvière, près du fort Saint-Jean.* La cote inscrite sur cette plaque est de 3,060 m.

Le point unique d'altitude Zéro, que Bourdalouë appelait de ses vœux depuis de nombreuses années, devenait enfin réalité. Il est ainsi fixé à 0,40 mètre en contre-haut du zéro de l'échelle en marbre des marées, placée à l'entrée du bassin de radoub, dans l'ancien port et près de l'Intendance sanitaire, non loin du Fort Saint-Jean. Cette échelle, très ancienne, a son zéro au niveau des *plus basses mers observées* à cet endroit, suivant les règles adoptées pour les cartes marines. Suivant cette définition, Bourdalouë nivelle ce repère n° 801 et lui attribue l'altitude 2,658 m. Tel est le point fondamental du Nivellement général de la France.



Figure 30 : Le bâtiment de l'Intendance sanitaire, quai du Port. Au fond le fort Saint-Jean. L'échelle des marées et le repère n° 801 de la ville de Marseille se trouvaient à proximité.

On peut s'étonner de la différence de 40 centimètres entre le zéro de l'échelle des marées, réputé être le niveau des plus basses mers, et le niveau moyen des eaux au bord d'une mer dont l'amplitude des marées à Marseille les jours de vives-eaux, n'est que de l'ordre du décimètre. Au-delà, pour expliquer cette différence, il faut compter avec d'autres facteurs, telle que la direction des vents ou la variation de la pression barométrique qui, pour une valeur non exceptionnelle de 780 mm de mercure alors que la normale est de 758, provoque théoriquement un abaissement du niveau de la mer de 30 cm.

Le polygone n° 24

Pendant l'exécution du réseau des lignes de base, la France s'agrandit en 1860. Le réseau va suivre :

En 1858, Napoléon III et Cavour, au nom du roi de Sardaigne Victor-Emmanuel II, conviennent à Plombières, où le couple impérial « prenait les eaux », que la France aidera les Sardes à chasser les Autrichiens d'Italie. En échange, la France recevra Nice, ainsi que la Savoie qui avait déjà été une première fois française de 1792 à 1814 sous le nom du département du Mont-Blanc. En Avril 1860, par plébiscite, les Savoyards approuvent par 130 533 voix contre 235, leur rattachement à la France, et deux nouveaux départements sont créés, la Savoie et la Haute-Savoie.

Bourdalouë salue l'événement à sa façon, en réalisant le nivellement du polygone n° 23 pour niveler Annecy, et du polygone n° 24 qui va passer par Chambéry et repasser sur le nivellement du col du Mont-Cenis, avec un itinéraire empruntant :

- le Rhône, de Lyon à Culoz,
- la ligne des chemins de fer sardes, dite voie Victor-Emmanuel II par la rive Est du lac du Bourget, de Culoz à Saint-Jean de Maurienne,
- la route impériale n° 6, de Saint-Jean au Col du Mont-Cenis où le bâtiment près de la borne frontière porte le repère le plus haut du réseau (2 082,65),
- la descente jusqu'à Suse en Italie en repassant sur un certain nombre de repères naturels des premières études du chemin de fer du Mont-Cenis (500,138 pour le repère n° 82 à Suse),
- la remontée au Col de Mont-Genèvre en nivelant des repères naturels pour retrouver en France des repères scellés, sur la borne frontière (1 813,21) et sur l'hospice (1 849,52),
- la descente par la route impériale n° 94 jusqu'à Briançon (repère scellé sur la porte de Pignerol : 1 326,51),
- la route impériale n° 91 de Briançon à Grenoble, passant par le Col du Lautaret où l'hospice porte toujours aujourd'hui, sur le bâtiment devenu maison des Ponts et Chaussées, le deuxième repère le plus haut du réseau (2 057,91),
- la ligne de chemin de fer, de Grenoble à Saint-Rambert sur le Rhône,
- et enfin le Rhône de Saint-Rambert à Lyon.



Figure 31 : La maison des Ponts et Chaussées, au Col du Lautaret, et le repère du Lautaret.

Avec 600 kilomètres de périmètre et surtout trois grands cols alpins et 8000 mètres de dénivellation, la fermeture du polygone n° 24 n'est que de 69 millimètres ! C'est la plus forte du réseau des lignes de base, mais est tout de même admirable. On remarque que les altitudes des repères au-dessus de 1000 mètres, sont arrondies au centimètre. Ce n'est pas en raison d'une moindre précision, mais tout simplement parce que les *indicateurs* des repères, étant donné la taille des chiffres, ne peuvent en comporter que six. Ces altitudes, dans les répertoires, sont données également au centimètre, reproduisant fidèlement les altitudes indiquées sur le terrain.

La compensation du réseau des lignes de base

Début 1862, le réseau des lignes de base est très avancé, mais le polygone de Bretagne (n° 1), celui de Normandie au sud de l'estuaire de la Seine (n° 4), ceux des Alpes à l'est de la vallée du Rhône (n° 23, 24, 33 et 34), et celui du Jura à l'est de la ligne de Lyon à Dijon (n° 22), ainsi que ceux situés au sud de la Garonne et du canal du midi (n° 36, 37 et 38), ne sont pas terminés. Bourdalouë va néanmoins procéder à la compensation des polygones déjà fermés pour arrêter des altitudes définitives : on ne peut pas faire attendre plus longtemps la publication du travail exécuté.

La plupart des polygones comportant des itinéraires montagneux sont ainsi exclus de la compensation. De plus, les lignes de La Souterraine à Clermont et de Figeac à Béziers ne sont pas arrêtées et, de ce fait, les deux polygones contigus à chacune de ces lignes, respectivement les polygones n° 26 et 29 et les polygones n° 31 et 35, sont

RÉSULTATS DES POLYGONES

(20 MARS 1862

N° DES POLYGONES.		DIFFERENCES.	
		+	-
POLYgone N°	1	"	"
—	2	"	0 026
—	3	0 036	"
—	4	"	"
—	5	"	0 032
—	6	0 025	"
—	7	0 013	"
—	8	0 061	"
—	9	0 024	"
—	10	0 032	"
—	11	"	0 015
—	12	"	0 029
—	13	0 034	"
—	14	0 018	"
—	15	0 007	"
—	16	"	0 048
—	17	"	0 055
—	18	0 052	"
—	19	"	0 020
—	20	0 013	"
—	21	0 040	"
—	22	"	"
—	23	"	"
—	24	"	"
—	25	"	0 024
—	26 et 29	0 040	"
—	27	"	0 026
—	28	0 018	"
—	30	"	0 013
—	31 et 35	0 033	"
—	32	0 015	"
—	33	"	"
—	34	"	"
—	36	"	"
—	37	"	"
—	38	"	"
Totaux.		0 ^m 461	0 ^m 288
Écart total des 26 Polygones.		+ 0 ^m 173	
Soit pour écart moyen de chaque Polygone de 357 kilomètres de développement.		0 ^m ,007	

Figure 32 : Tableau des fermetures des 26 polygones, bouclés au 20 mars 1862.

considérés comme ne formant qu'un seul polygone total. Ce n'est pas une mauvaise chose pour la compensation finale.

Sur les trente-huit polygones initialement prévus, vingt-six sont alors fermés. Pour les quelques itinéraires en altitude qui sont pris en compte, surtout pour ceux dont l'orientation générale est nord-sud, tel Clermont-Ferrand - Le Puy - Mende - Nîmes, Bourdalouë n'a appliqué aucune correction orthométrique ou dynamique, pour tenir compte du défaut de parallélisme des surfaces de niveau terrestres.

Bourdalouë est resté très discret sur la façon probablement empirique, utilisée pour compenser les écarts de fermeture des polygones de son réseau. Il fut plus tard critiqué pour cette phase discutable de son œuvre. Il faut toutefois considérer que plus d'un siècle après son travail, il est aujourd'hui facile de proposer une compensation des fermetures de ses polygones par la méthode des moindres carrés, en oubliant de remarquer que la dite méthode n'était pas encore en France à l'époque, appliquée en géodésie.

Bourdalouë ne fait subir aucune compensation au nivellement de la Loire entre Saint-Nazaire et Briare. En fait, le nivellement de la Loire est triple, avec une ligne sur chaque rive de Nantes à Briare, et une ligne de contrôle en sens contraire et de nombreux points de jonction. Il est considéré de ce fait comme plus précis que les autres. Bourdalouë l'incorpore tel quel au réseau des lignes de base, et les altitudes de 1855 ne seront modifiées que d'une constante, celle qui sera attribuée à l'altitude du trait 3 mètres de l'échelle de Saint-Nazaire. Il en est de même pour le nivellement du Rhône, exécuté en 1857 entre Lyon et Genève et celui de la Seine, exécuté en 1858 entre Paris et Le Havre, qui sont incorporés sans subir de compensation.

Par contre, Bourdalouë ne prend pas en considération le polygone n° 8 dont la fermeture de +61 mm, la plus forte de toutes - elle dépasse la tolérance admise de 5 centimètres - lui semble sujette à caution en raison d'un itinéraire accidenté dans les Ardennes : *les 6 centimètres d'écart proviennent d'une ligne de 133 kilomètres, très accidentée, ... , passant par Uckange, Longwy, Montmédy et Sedan. Cet écart ne pouvant altérer les autres résultats, on a passé outre en ramenant les altitudes d'après les points extrêmes qui ne laissent aucun doute sur leur exactitude.* Pour le reste, il considère sans doute que les écarts à répartir sont si faibles que, quelle que soit la méthode choisie, le résultat n'en serait pas modifié de façon significative.

Bourdalouë arrête ainsi et publie le 20 mars 1862 [18], le résultat des altitudes définitives pour les lignes des 26 polygones fermés.

Pour la Loire, le trait 3 mètres de l'échelle des marées du port de Saint-Nazaire, qui servit en 1855, de zéro au nivellement du fleuve jusqu'à Briare, est à la cote 0,747 m. Toutes les altitudes attribuées alors aux repères de la Loire, sont majorées de 747 mm. Cela est d'autant plus facile que, sur le terrain, il n'y a pas de repères scellés avec indicateurs. Il suffit de publier les nouvelles altitudes des bornes et des points naturels des rives de la Loire.

Pour le Rhône, les altitudes attribuées en 1857 aux repères du fleuve entre Lyon et Genève et à ceux de ces deux villes, sont à minorer de 464 mm, dont 400 sont imputables au fait que la référence était au zéro de l'échelle du port de Marseille et non comme adoptée ensuite pour le nivellement général à 40 cm au-dessus, et le reste à la différence d'Avignon et Lyon, entre le nouveau nivellement par la route de la rive droite du Rhône après compensation, et celui initial du fleuve. Tous les repères de nivellement du fleuve et ceux des villes de Lyon et Genève, reçoivent alors des indicateurs dans la référence du Nivellement général de la France.

Pour la Seine, le zéro de l'échelle du pont de la Tournelle à Paris est trouvé à l'altitude 26,285 et non à la cote 26,25 adoptée par la commission Arago, si bien que les altitudes au-dessus du niveau moyen de la mer, portées par les repères du service municipal, doivent être majorées de 35 millimètres pour être en accord avec les altitudes compensées du Nivellement général de la France. Cela est confirmé à peu de chose près, sur tous ceux de ces repères situés dans le voisinage du pont de la Tournelle, nivelés à nouveau par Bourdalouë en 1858 et 1859.

La précision du réseau des lignes de base

L'analyse critique des 26 écarts de fermeture des polygones bouclés au 20 mars 1862, indiqués dans le tableau récapitulatif et sur la carte du réseau des lignes de base, donne 16 polygones ayant une fermeture positive, dont le total est de +461 mm et 10 polygones ayant une fermeture négative, dont le total est de -288 mm. Dans les deux groupes, la moyenne arithmétique est de 28,8 mm par polygone. Mais après en avoir déduit, avec juste raison, que le polygone enveloppe présente un écart de fermeture positif de +173 mm, Bourdalouë divise à tort ce résultat par 26 pour annoncer un écart moyen de chaque polygone de 7 mm (!), pour un périmètre moyen de 357 km. En fait l'écart moyen quadratique de fermeture d'un des 26 polygones est de 32 mm, ce qui permet d'afficher une erreur moyenne quadratique de 1,7 mm par km. Si l'on considère le polygone enveloppe seul, compte tenu de son périmètre, l'erreur quadratique est alors de 3 mm par km.

La suite des opérations ne permet toutefois pas d'être aussi optimiste. Sur treize polygones bouclés après le 20 mars 1862 (polygones n° 1, 17bis, 17ter, 22, 22bis, 23, 24, 33, 34, 36, 37, 37bis et 38), neuf ont une fermeture positive pour un total de +319 mm et quatre ont une fermeture négative pour un total de -106 mm. L'écart moyen quadratique des fermetures est de 36 mm. Il est à peine supérieur à celui des 26 polygones ayant participé à la compensation du réseau, mais la fermeture du polygone enveloppe a plus que doublé et atteint tout de même 386 millimètres, valeur nettement supérieure aux espérances de Bourdalouë et qui, compte tenu de la longueur du périmètre, correspondrait plutôt à une erreur quadratique de 5 millimètres par kilomètre.

La différence entre les estimations de l'erreur moyenne quadratique par kilomètre pour un polygone isolé et pour le polygone enveloppe, semble bien montrer, ce qui fut constaté plus tard sur d'autres canevas importants, que les grands nivellements sont entachés d'erreurs systématiques.

L'achèvement du réseau des bases

Les opérations du réseau des lignes de base sont terminées en 1864, et le résultat des opérations est alors publié en 1865 par département, en trois tomes [19]. Les indications sont très soigneusement vérifiées et les quelques erreurs sont consignées dans les errata et, de plus, corrigées à la main sur chacun des 400 exemplaires.

Ce réseau des bases est l'un des tout premiers de grande envergure qui aient été réalisés dans le monde, et sa précision est remarquable pour l'époque. D'ailleurs, toutes les sections du réseau ont été par la suite incorporées au nouveau réseau qui sera entrepris en France, à partir de 1884, avec réitération pour le réseau de 1^{er} ordre, et généralement sans réitération pour les autres ordres.

Les nivellements municipaux

En même temps que le réseau des bases, outre Lyon et Genève, Bourdaloué exécute des nivellements dans certaines grandes villes à la demande des municipalités, comme :

- Rouen en 1860 en vue d'une distribution d'eau, sur des plaques métalliques [17]
- Orléans en 1862.

À Bourges, le rattachement au réseau des lignes de base, du canevas des anciens repères de 1850-54 et de ceux de 1858 posés en vue de la distribution d'eau [14] [15], montre que les altitudes portées par les indicateurs dans le système du Nivellement du département du Cher sont trop élevées de 2,487 mètres, et dans les répertoires du réseau des lignes de base, les altitudes des repères sont données dans le système national avec rappel des altitudes portées par les indicateurs.

À Lyon et à Genève, les altitudes de 1858 sont à minorer de 464 millimètres, comme pour le Rhône entre ces deux villes. Le zéro de l'échelle du pont Tilsitt à Lyon, est alors à l'altitude 160,319.

D'autres villes s'étaient déjà dotées d'un nivellement exécuté par leur service municipal :

À Marseille, nous l'avons vu, des plaques repères avaient été nivelées avec comme référence le zéro de l'échelle du vieux-port ; pour ramener les altitudes indiquées sur les plaques à celles du réseau des bases, il faudra les diminuer de 402 millimètres.

En province, de nombreuses villes établissent un réseau de repères de nivellement rattaché au réseau des lignes de base. Les repères sont copiés sur les repères Bourdaloué du type de 1858, seule l'expression « Nivellement général de la France » est rem-

placée par la mention « Ville de ... ». Telles sont pourvues par exemple, les villes de Clermont-Ferrand, Versailles, Lille, Reims, Châlons-sur-Marne, Nancy ou Dijon. Dans cette dernière ville, un gros repère central, d'un diamètre exceptionnel de 200 mm, est scellé sur la façade du Palais des Ducs et des États de Bourgogne, et porte la cote 246,000.

D'autres villes de moindre importance, qui ne se trouvent pas à proximité d'une des lignes de base, adoptent une altitude de référence approchée, comme cela avait été le cas à Bourges en 1850. C'est le cas de Pithiviers dans le département du Loiret en 1877, dotée de repères copiés sur le type de 1858, mais portant pour inscription : Nivellement de Pithiviers, au-dessus du niveau de la mer (on ne fait plus référence au niveau *moyen* de la mer).

Le réseau de détail, ou nivellement départemental

Tout en réalisant le réseau des lignes de base, Bourdaloué souhaite l'exécution d'un réseau de détail. Il se comporte à nouveau comme un entrepreneur privé et propose d'effectuer, pour la France continentale entière, des travaux de nivellement dans une « soumission » où il évalue la dépense à 80 000 Francs pour chaque département, montant que lui a coûté le nivellement du département du Cher.

C'est ainsi que le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics adresse à tous les Préfets une circulaire n° 18 le 15 Juillet 1857 et une autre n° 31 le 16 Août 1858 dans lesquelles, après avoir montré tout l'intérêt d'un nivellement général de détail de la France, il leur demande d'inciter les Conseils généraux de chaque département à prévoir des crédits de 40 000 Francs, l'État s'engageant à prendre la moitié de la dépense à sa charge. De plus, cette dépense pourra être étalée sur sept années, durée prévue pour chaque nivellement départemental.

Les avantages que l'on doit attendre d'un nivellement général, sont ainsi explicités dans ces circulaires :

Le nivellement général de la France serait destiné :

1° A fixer, pour les divers services, un seul plan horizontal de comparaison qui sera le niveau moyen de la mer ;

2° A procurer de nombreux points de repère pour prévenir toute erreur dans les opérations si multipliées que nécessitent journellement le règlement des cours d'eau, l'établissement des lignes de navigation, les projets de drainage, d'assainissement, d'irrigation, de routes, de chemins de fer, etc. ;

3° A accuser sur les copies si précieuses des cartes d'État-major (échelle de 1/40 000) le relief exact du terrain, de manière à rendre certaines et rapides les études des avant-projets que l'ingénieur

peut être appelé à présenter dans l'intérêt de la France, à éviter désormais les dépenses énormes faites chaque année, en pure perte, pour toutes les études particulières, pour tous les nivellements partiels que l'on ne peut relier entre eux en l'absence d'un plan horizontal de comparaison.

On retrouve le découpage des minutes au 1/40 000 de la carte d'État-major, découpage que Bourdalouë avait déjà utilisé pour le département du Cher.

On note que du fait de l'existence du réseau des bases qui dessert chaque chef-lieu de département, le nivellement de détail financé par un département, n'est pas tributaire des décisions des départements voisins, et que les départements pourront ainsi être équipés au fur et à mesure des crédits votés par leurs Conseils généraux. Bel exemple de décentralisation !

Un des premiers départements à s'équiper est le Nord, D'autres suivent, tels la Seine-et-Marne, l'Aube, etc.

Les circulaires Bourdalouë

À l'intention des opérateurs du Nivellement général de la France, Bourdalouë fait paraître à Bourges, à partir de 1859, des « Instructions » sous couvert du Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, Direction générale des Ponts et Chaussées, Établissement des Bases du Nivellement général de la France. Ces textes, tous ensemble, constituent un véritable traité de nivellement. Les 18 premiers ont été réunis dans le 4^e volume « notes diverses » du Nivellement général de la France [21] :

- Circulaire n° 1 (5 novembre 1859) : Les opérateurs du Nivellement général de la France, qui ont tous reçu le traité du nivellement de Breton de Champ [N 9], sont informés qu'ils vont être attributaires de circulaires d'instructions.
- Circulaire n° 2 (14 Décembre 1859) : « Mission de l'opérateur et du lecteur ».
- Circulaire n° 3 (28 Novembre 1859) : « Mires n° 1 à 5 ».
- Circulaire n° 4 (20 Février 1860) : « Mire n° 6 ».
- Circulaire n° 5 (21 Février 1860) : « Repères », qui reprend la circulaire ministérielle du 15 Novembre 1858.
- Circulaire n° 6 (28 Février 1860) : « But du Nivellement général de la France ».
- Circulaire n° 7 (7 Mai 1860) : « Fiches d'acier pour les nivellements de précision » où il est précisé que *l'espacement moyen des repères étant d'un kilomètre environ, il en résulte que l'opération a besoin, pour franchir cette distance, d'emprunter au moins trois points intermédiaires*. Ces points auxiliaires sont matérialisés par des fiches d'acier.
- Circulaire n° 8 (15 Novembre 1860) « Repère unique auquel les altitudes du Nivellement général de la France doivent être rapportées ».
- Circulaire n° 9 (15 Décembre 1860) « Hauteur du niveau apparent au-dessus du niveau vrai et élévation causée par la réfraction ».
- Circulaire n° 9 bis (12 Janvier 1861) « Moyen facile de déterminer la distance du niveau à la mire ».
- Circulaire n° 10 (17 Décembre 1860) « Définition à but des nivellements. Moyens d'opérer ».

- Circulaire n° 11 (30 Décembre 1860) « Niveau des charpentiers et des maçons ».
- Circulaire n° 12 (2 Février 1861) « Niveau d'eau ».
- Circulaire n° 13 (20 Mars 1861) « Niveau à bulle d'air, dit bulle des ouvriers ».
- Circulaire n° 14 (25 Février 1862) « Description du Niveau Bourdalouë ».
- Circulaire n° 15 (1^{er} Septembre 1862) « Pantosymmètre n° 1 ».
- Circulaire n° 16 (1^{er} Juin 1863) « Pantosymmètre à détente ».
- Circulaire n° 17 (1^{er} Juin 1863) « Baromètre anéroïde ».
- Circulaire n° 18 (1^{er} Juillet 1863) « Conservation du Cadastre ».
- Circulaire n° 19 (1^{er} Mai 1867) « Pantosymmètre fil à plomb » [22] : Bourdalouë présente un nouveau modèle de son pantosymmètre, muni d'un dispositif pendulaire, en fait un des premiers appareils topographiques à verticale automatique.

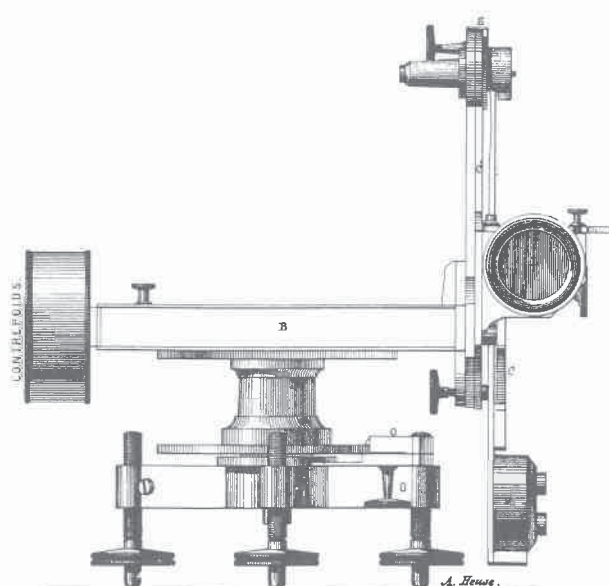
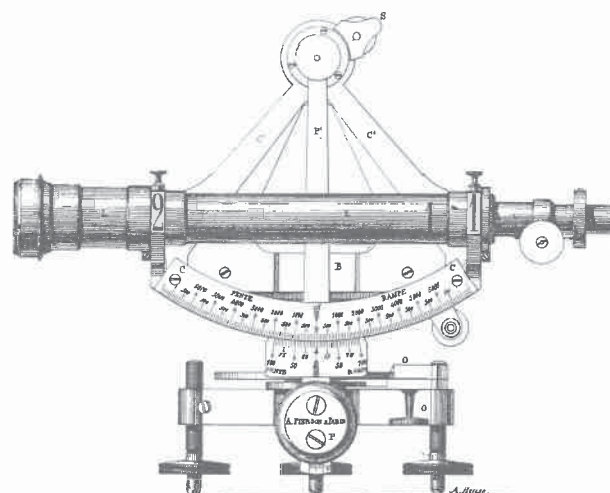


Figure 33 : Le Pantosymmètre fil à plomb.

Les honneurs et les remerciements

Le temps des honneurs est venu. Bourdalouë est élu premier adjoint au Maire de Bourges, et en 1863 est fait Officier de la Légion d'Honneur.

En remerciement, alors qu'il avait déjà pris une part importante à l'aménagement de la ville de Bourges, Bourdalouë fait édifier à ses frais, devant la Préfecture, place de l'Arsenal près de laquelle il habitait, aujourd'hui place de la Préfecture, une belle fontaine maintenant classée à l'Inventaire des Monuments Historiques, encore connue de nos jours sous le nom de « Fontaine Bourdalouë ».

Il se charge également à Bourges de la direction des travaux de construction de la Clinique des Sœurs de Marie Immaculée, place du Château, et participe à son financement.

Ses travaux lui valent également de nombreuses distinctions étrangères :

— en 1864, Chevalier de l'Ordre du Lion Néerlandais,

— en 1865, Commandeur de l'Ordre des Saints Maurice et Lazare d'Italie, et décoration de l'Ordre de l'Aigle Rouge du Roi de Prusse,

— en 1866, Officier de l'Ordre de Guadalupe de l'Empereur du Mexique.

Au début de 1868, du fait de sa santé, il se retire du Conseil Municipal.



Figure 34 : La Fontaine Bourdalouë, place de la Préfecture, à Bourges.



Figure 35 : La tombe de la famille Bourdalouë au cimetière des Capucins à Bourges et son repère de nivellement.

Le souvenir

Bourdalouë nous laisse des milliers de repères de nivellement, répartis dans toute la France, comme autant de témoignages de son œuvre.

Il s'éteint à 70 ans, le 21 Juin 1868 à 10 heures du soir, dans sa maison de Bourges, au n° 16 de la rue des Armuriers, après une vie bien remplie. Il repose depuis dans le caveau familial du cimetière des Capucins à Bourges et, comme il l'avait souhaité, sous un repère qu'il avait scellé sur le tombeau lors du nivellement de la Ville de Bourges en 1858 pour l'adduction d'eau, et portant l'altitude 150,083.

Lors de l'établissement du réseau des lignes de base du Nivellement général de la France, Bourdalouë s'était rendu compte que les altitudes du département du Cher, dont l'origine avait été fixée à partir de la cote du repère de l'État-major de la cathédrale de Bourges, étaient trop élevées de 2,487 mètres. Cet écart ramenait la cote du repère de la sépulture à la valeur 147,596, comme indiquée dans les répertoires de 1864.

Une satisfaction posthume devait lui être donnée. En 1878, M. de Freycinet, Ministre des Travaux publics, institue sous sa présidence, une commission centrale des travaux à effectuer pour compléter l'œuvre de Bourdalouë. En suivant ses

méthodes, sont prévus en premier lieu, 25 000 km de nivellement de précision le long des voies de communication et des cours d'eau, et 840 000 km de nivellement intercalaires, qui doivent permettre en second lieu, de tracer les courbes de niveau sur des cartes à 1/10 000, établies à partir des plans cadastraux, sur lesquelles « chaque repère de nivellement serait indiqué à sa place ». Pour réaliser la première partie qui seule fut financée, le Service du Nivellement Général de la France est créé en 1884, sous la direction de Charles Lallemant.

C'est ainsi que, quelques dizaines d'années plus tard, ses niveleurs n'ont pas manqué de venir rendre hommage à leur « Ancien », au cimetière des Capucins à Bourges, en posant à leur tour leur mire sur le repère d'altitude 150,083 qui depuis, et encore aujourd'hui, est assorti d'une pastille émaillée portant le matricule G'a k₃ 75^a et l'altitude 147,12. L'écart de 2,963 mètres est imputable pour 2,487 m, comme on vient de le dire, au nivellement du département du Cher, et le reste, soit 0,476 m, à la discordance entre les deux nivellements fondamentaux depuis Marseille. On constate d'ailleurs ce même écart de près de 3 mètres, entre les altitudes portées sur la carte d'État major ou sur celles des planches du Nivellement général du département du Cher d'une part, et sur celles de la carte moderne d'autre part.

Un autre hommage devait lui être rendu un peu plus tard. On se souvient qu'à Bourges, la rue portant le nom du prédicateur Louis Bourdaloue, avait été débaptisée en 1902. Le nom étant en quelque sorte disponible, un nouveau Conseil municipal, par une délibération en date du 5 mars 1909, décide de donner le nom de Paul-Adrien Bourdalouë à la rue bordant la façade de la clinique qu'il avait aidée financièrement à construire, et longeant la place du Château.

BIBLIOGRAPHIE

N.B. : Les lettres placées à la fin de la citation d'un ouvrage, indiquent les lieux où il peut être consulté :

- A : Bibliothèque municipale des 4 piliers, Bourges.
- B : Bibliothèque de l'Institut Géographique National, Saint-Mandé.
- C : Bibliothèque de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris.
- D : Bibliothèque de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- E : Bibliothèque de l'École Nationale Supérieure des Techniques industrielles et des Mines d'Alès.
- F : Bibliothèque du Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris.
- G : Archives de la Société Nationale des Chemins de fer Français, Direction de l'Équipement, Service topographique, Paris.
- H : Bibliothèque de l'Association Française de Topographie, Paris.



Figure 36 : La rue Bourdalouë, à Bourges. Au fond, la clinique des sœurs de Marie-Immaculée, toujours en activité aujourd'hui.

A - OUVRAGES de BOURDALOUË

[1] Manuscrit de BOURDALOUË, Notice - Amélioration du niveau-cercle Égault et construction de nouvelles mires, par M BOURDALOUË, Ingénieur-résident des chemins de fer du Gard, conducteur des Ponts et Chaussées, 1844.(C)

Fac-similé dans la revue XYZ n° 23 de Septembre 1985 et dans « Mesurer la Terre, 300 ans de Géodésie française », par J.-J. LEVALLOIS (chapitre IX, pages 124 et 125). (H)

[2] Notice sur le Nivellement, édition du manuscrit ci-dessus, 1844.

[3] Mine de la Grand-Combe. Chemin de fer et plan automoteur « à double effet » construit en 1844 à Champclauzon, 1 atlas in-folio. (A)

[4] Nouvelle notice sur les Nivellemens, Valence 1847, 1 volume in-8°, 256 pages.(A)(F)

[5] Études de l'isthme de Suez et de basse Égypte faites en 1847 sous la direction de Paulin TALABOT : Carte à l'échelle de 1/20 000 en 18 feuilles de format grand aigle.(A)

[6] Notice sur le nivellement de l'isthme de Suez. Études faites en 1847, Bourges 1855 : 2 cahiers in-4°, 14 pages et atlas. (A)(C)

[7] Mission Bourdalouë exécutée en 1852 : Traversée du Mont-Cenis par chemin de fer, 1 atlas in-folio. (A)

[8] Projet d'amener les Eaux à Bourges, 1852. 1 cahier in-8°, 14 pages. (A)

[9] Nivellement général du Département du Cher, Bourges 1852-1855, 4 volumes in-8° et un atlas in-folio.(C) et, à l'exception du premier volume, (A)(D)(F)

[10] Nivellement général de la Loire, 1^{er} volume de Saint-Nazaire à Briare, exécuté en 1855, Bourges 1855 : 1 volume in-8°, 11 pages.(A)(C) 2^e édition 1856. (C)

[11] Nivellement général du Rhône, entre la Méditerranée et Genève, exécuté en 1856 et 1857, Bourges 1858 : 1 volume in-8°. (A)(C)

[12] Nivellement général de la Ville de Lyon, exécuté en 1857. Bourges 1857-1858 : 1 volume in-8°, 21 pages, 4 tables. (A)(C)

[13] Nivellement général entre Paris (l'Observatoire) et Nevers pour servir de base au nivellement du chemin de fer du Bourbonnais, exécuté en 1856. Bourges 1859 : 1 volume in-8°, 5 pages. (A)

[14] Première notice sur les Eaux de la Ville de Bourges. 1857 : 1 volume in-8°, 23 pages. (A)

[15] Deuxième notice sur les Eaux de la Ville de Bourges. Février 1859 : 1 volume in-8°, 22 pages. (A)

[16] Nivellement général de la France. Lignes de base. Navigation de la Seine :

— 1^{re} section de Marcilly au Pont de Bercy exécuté en 1859,

— 2^e section du Pont de Bercy au Pont d'Auteuil, exécuté en 1858-59,

— 3^e section du Pont d'Auteuil à Rouen, exécuté en 1858-59,

— 4^e section de Rouen à Quillebeuf, de Quillebeuf au Havre et de Quillebeuf à Trouville, exécuté en 1860

Imprimerie Jollet, Bourges, 1861 : 1 volume in-8°. (A)

[17] Ville de Rouen. Nivellement de précision exécuté en 1860. Bourges 1861 : 1 volume in-8°, 99 pages. (A)

[18] Nivellement général de la France. Réseau des lignes de Bases, 20 mars 1862. Bourges, Jollet, imprimeur du Nivellement général de la France, de la Préfecture, de la Mairie, etc. : 1 atlas in-folio. (B)(G)

[19] Nivellement général de la France, Résultats des opérations exécutées pour l'établissement du réseau des lignes de Bases, Bourges, Pigelet, 1862-65 : 3 volumes in-8° et un atlas in-folio. (A)(B)(C)(D)

1 - Départements Ain - Finistère,

2 - Départements Gard - Moselle

3 - Départements Nièvre - Yonne

[20] Nivellement général de la France. Propositions relatives aux travaux restant à faire pour terminer le Nivellement général, Bourges, Pigelet 1863 : 1 volume broché in-8° avec planches. (C)(D)

[21] Nivellement général de la France, Notes diverses, Bourges, Pigelet 1864 : 1 volume in-8°. (B)

[22] Circulaire n° 19. Pantosymètre fil à plomb, Bourges, Pigelet, 1867 : 1 vol. in-8°, 100 pages. (A)(C)(F)

[23] Nivellement général de la France. Carte des lignes de base. Ministère des Travaux publics. Paris 1868. (C)

[24] Nivellement général du département du Nord. Résultat des opérations de 1869 à 1875, opérations confiées à M. Leclère. Pigelet 1877 : 1 volume in-8°, 610 pages. (A)

B - LES PREMIERS OUVRAGES SUR LE NIVELLEMENT

[N 1] Traité du Nivellement, par l'abbé Jean PICARD de l'Académie royale des sciences, avec une relation de quelques Nivellemens faits par ordre du Roy, mis en lumière par les soins de M. de la HIRE, de l'Académie Royale des Sciences et Professeur Royal en Mathématique, Paris, chez Estienne Michallet, 1684, 1 vol. in-12°. (C)(H)

[N 2] Traité de nivellement contenant la théorie et la pratique de cet art, par BULLET, Paris, Nicolas Langlois 1689 : 1 vol. in-12°. (C)

[N 3] Traité sur la théorie et la pratique du nivellement, par le Chevalier de LESPINASSE, Avignon 1768 : 1 vol. in-4°. (C)

[N 4] Traité complet sur la théorie et la pratique du nivellement, par J.A. FABRE, Draguignan 1809 : 1 vol. in-4°. (C)(F)

[N 5] Traité du nivellement, par P. BUSSON-DESCARS, Parme, Bodoni 1813 : 1 vol. in-4°. (C)

[N 6] Mémoire sur le Nivellement général de la France et les moyens de l'exécuter, par GIRARD (P.S). Paris 1825 : 1 volume broché in-8°. (C)

[N 7] Mémoire sur les niveaux-cercles et autres instruments, par LENOIR fils. Paris - Boucher 1825 : 1 volume in-8° oblong. (C)

[N 8] Art du Nivellement et applications de cet art à la construction des routes, chemins de fer ... , par E. DUBREUIL, Ingénieur architecte, Paris - librairie L. Mathias 1842. (C)(F)

[N 9] Traité du Nivellement comprenant la théorie et la pratique du nivellement ordinaire et des nivellements expéditifs, par Paul Émile BRETON (DE CHAMP), Ingénieur du corps des Ponts et Chaussées, ancien élève de l'École Polytechnique, Paris :

- Première édition : 1848. (F)
- Seconde édition, revue, corrigée et augmentée : 1861. (F)

C - ESSAIS sur Paul-Adrien BOURDALOUË

[E 1] Paul-Adrien BOURDALOUË, ses ascendants et ses collatéraux, par le Vicomte Charles de LAUGARDIERE, ancien conseiller à la Cour de Bourges, Président de la Société des Antiquaires du Centre : Bourges, chez Louis Renaud, éditeur, 12 rue Moyenne - 1903. Une plaquette in-8°, 19 pages. (Bibliothèque Nationale, cote 8 L^m27 50298)

[E 2] Sur les traces de P.-A. BOURDALOUË : Plaquette (bande dessinée) par J. et François BODIN, publiée par la Chambre départementale des Géomètres-Experts du Cher, à l'occasion de l'Assemblée Générale des Géomètres-Experts de la Région Centre, le 15 Mai 1992. (H)

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

— Portrait en buste de Paul-Adrien Bourdalouë, peint par Numa Boucoiran (né et mort à Nîmes. 1805-1869). Collection particulière. Photo « ZOOM-Studio ». Bourges.

— Bornes de la Loire : Gérard ROBINEAU, Fleury-lès-Aubrais.

— Niveau Bourdalouë et Médaille Bourdalouë : Daniel MENET / IGN, Département Communication, Saint-Mandé.

— Tombe de la famille Bourdalouë : André BAILLY, AFT Paris.

— Autres : par l'Auteur.



Figure 37 : Paul-Adrien Bourdalouë, médaillon conservé au Service du Nivellement Général de la France (Institut Géographique National, Saint-Mandé) et fac-similé de sa signature.

Traité

PRÉSENTÉ PAR M. BOURDALOUË

ET APPROUVÉ

PAR S. EXC. M. LE MINISTRE DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DES TRAVAUX PUBLICS.

EN CE QUI CONCERNE LES LIGNES DE BASE.



Par décision du 15 juillet 1857, Son Excellence M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics a chargé M. PAUL-ADRIEN BOURDALOUË de l'exécution du Nivellement général de la France, qui comprendra deux opérations distinctes :

1° L'une, de haute précision, s'appliquant seulement aux lignes de bases destinées à servir de repères pour le nivellement de détail et, en même temps, à fixer le niveau moyen de la mer auquel toutes les altitudes seront rapportées;

2° L'autre, de détail, au moyen de laquelle on rapportera, au plan de comparaison ainsi déterminé, autant de points de la surface du sol qu'il sera nécessaire pour en faire connaître le relief, suivant ce qui sera indiqué ci-après :

1° BASES DU NIVELLEMENT GÉNÉRAL.

ARTICLE 1^{er}.

Le développement total des lignes de bases du nivellement de haute précision est évalué à dix mille kilomètres; ces lignes traverseront la France et l'envelopperont suivant les directions qui seront successivement déterminées.

ARTICLE II.

Chacune de ces lignes sera l'objet d'un triple nivellement dont les résultats seront consignés pour chacun de ces nivellements sur deux registres tenus, l'un par l'Opérateur, l'autre par le Lecteur. Ces registres devront présenter la plus grande précision.

En cas de discordance entre les résultats des trois doubles nivellements, de nouvelles opérations auront lieu jusqu'à ce qu'il n'y ait plus rien à désirer sous le rapport de l'exactitude, ainsi que cela vient d'être pratiqué pour le nivellement de précision du Rhône (M. Kleitz, Ingénieur en chef).

ARTICLE III.

Sur ces grandes lignes de bases, on déterminera au moins un repère par 2 kilomètres. A défaut de repères spéciaux sur ces lignes, on prendra des points de repère sur les bornes kilométriques, sur les points les plus saillants des ouvrages d'art et des édifices, sur les échelles des fleuves, rivières et ports de mer.

La fourniture et le placement des repères spéciaux qui pourraient être reconnus nécessaires ne font point partie du présent Traité.

ARTICLE IV.

La tolérance pour les lignes de ceinture est de 10 centimètres, et, pour chacune des autres lignes, de 5 centimètres.

ARTICLE V.

Comme garantie de la vérité des opérations, tous les registres de terrain seront écrits à l'encre sans qu'aucune rature ni surcharge y puisse exister. Les Opérateurs, en cas d'erreur d'inscription, devront de suite en faire mention en regard, en passant un simple trait sur l'écriture infidèle, et inscriront à la suite l'observation vraie.

ARTICLE VI.

Chaque carnet du registre sera remis journellement à la poste à l'adresse du Ministère, afin de recevoir, comme premier enregistrement, le timbre postal; à cet effet, ils seront sans enveloppe, la couverture portant par impression l'adresse, conformément d'ailleurs au modèle joint aux présentes conventions.

ARTICLE VII.

Ces registres seront aussitôt visés au Ministère, pour être expédiés, sans retard, au bureau central de Bourges (les bureaux ne peuvent être établis à Paris : la dépense pour loyers, chauffage et calculateurs triplerait) où ils seront calculés, et leurs résultats portés immédiatement sur les feuilles de balance dont le modèle, adopté pour le Rhône, est ci-joint. Ces feuilles de balance seront également adressées au Ministère pour y être visées.

ARTICLE VIII.

Afin de prévenir la perte d'un Carnet, ils seront immédiatement reliés, par nature de ligne, ainsi que les feuilles de balance, pour être ensuite, à la fin des travaux, déposés aux Archives.

ARTICLE IX.

Au fur et à mesure de l'avancement des opérations, les résultats seront adressés au Ministère et à tous les Ingénieurs dont les services seront traversés par les lignes de bases, afin qu'on puisse les utiliser et, par conséquent, les vérifier.

ARTICLE X.

Enfin, aussitôt que le plan de comparaison aura été fixé par l'Administration, au moyen du nivellement qui reliera tous les ports de mer, les résultats obtenus seront imprimés à 400 exemplaires en fonction de ce plan unique de comparaison.

2° NIVELLEMENT GÉNÉRAL DES DÉPARTEMENTS.

ARTICLE XI.

Les opérations de haute précision des bases terminées, on pourra immédiatement commencer le Nivellement général. Le type est celui du département du Cher, dont M. Bourdalouë a fait hommage à ses concitoyens.

NIVELLEMENT GÉNÉRAL DE LA FRANCE.

ARTICLE XII.

Les altitudes seront hectométriques, pour les routes, d'après le piquetage fait par les soins de l'Administration des ponts et chaussées; des repères seront pris sur les bornes kilométriques et sur les points les plus saillants des principaux travaux d'art, ainsi qu'au zéro des échelles des fleuves et rivières.

ARTICLE XIII.

Pour chaque département, le travail se composera :

- 1° D'environ 120 volumes-minutes;
- 2° De 3 volumes de tables de repères, pour les routes impériales, départementales, de grande communication et d'intérêt commun, canaux et cours d'eau;
- 3° D'une carte générale du département, échelle $\frac{1}{200,000}$, avec courbes horizontales, servant en outre de tableau d'assemblage;
- 4° D'environ 20 cartes, copie des minutes de l'État-major, échelle $\frac{1}{40,000}$.

ARTICLE XIV.

Ces volumes de tables et cartes seront tirés à 400 exemplaires, dont moitié pour le Ministère, et le surplus pour les départements à qui incombera la moitié de la dépense.

ARTICLE XV.

Les départements du Cher et de la Seine, pour lesquels le Nivellement général est exécuté, sont exceptés, ainsi que la Corse pour laquelle il sera statué ultérieurement.

ARTICLE XVI.

La tolérance dans les altitudes par département sera :

- 1° Pour les routes impériales et les cours d'eau, de *cinq centimètres*, quelle que soit leur longueur;
- 2° Pour toutes les autres voies de communication, de *dix centimètres*;
- 3° Et, pour les altitudes de remplissage des polygones, de *trente centimètres*.

ARTICLE XVII.

La franchise postale, dans l'intérêt surtout d'un prompt service, sera accordée pour les papiers et Carnets du Nivellement général, à l'exception toutefois du transport des cartes, des volumes des tables et des 10,000 volumes-minutes qui, après les travaux, seront déposés soit aux Archives départementales, soit au Ministère.

ARTICLE XVIII.

Tous les frais généralement quelconques seront à la charge de M. Bourdaloué, tant pour les bases que pour le Nivellement général, y compris la fourniture de tous les instruments qu'il fait construire. Il sera maître du choix des lignes de base et de tous les moyens qu'il jugera convenables, afin d'arriver aux meilleurs résultats et à la précision voulue.

3° PAYEMENTS.

ARTICLE XIX.

Le kilomètre des lignes de bases sera payé *cinquante francs l'un*, compris la publication des tables des repères à 400 exemplaires (1). Les résultats définitifs du nivellement de chaque département seront consignés dans 3 volumes de texte et sur 20 ou 25 cartes qui seront tirées à 400 exemplaires, moitié à la charge du département, moitié à la charge de l'État.

ARTICLE XX.

Les paiements auront lieu au fur et à mesure de l'avancement des travaux et des achats d'instruments, sous la réserve d'un dixième de garantie, qui sera payé par département, immédiatement après la remise de toutes les pièces du Nivellement.

4° ÉPOQUE DE LA LIVRAISON DES TRAVAUX.

ARTICLE XXI.

Les 400 volumes de repères des bases devront être livrés au Ministère, au plus tard dans le délai de deux ans et demi, à dater du jour où l'ordre aura été donné de commencer.

ARTICLE XXII.

Tous les atlas et tables du Nivellement général des départements devront être livrés huit années après.

ARTICLE XXIII.

Les travaux seront conduits de sorte qu'en moyenne dix départements puissent être nivelés et livrés par année.

ARTICLE XXIV.

Dans le cas où l'Administration ordonnerait la cessation absolue ou l'ajournement indéfini des opérations qui font l'objet du présent Traité, il serait procédé conformément à ce qui est prescrit par les art. 36 et 40 des clauses et conditions générales, jointes à la circulaire du Directeur général des ponts et chaussées, en date du 25 août 1833.

ARTICLE XXV.

Le présent traité ne deviendra définitif, en ce qui concerne le Nivellement général des départements, qu'après que l'expérience aura fait reconnaître s'il est possible de rassembler, pour cette entreprise, un personnel assez nombreux et capable.

Dans le cas où les prévisions de M. Bourdaloué, à ce sujet, viendraient à ne pas se réaliser, il ne sera point tenu de pousser l'opération au delà des lignes de bases.

Il devra faire connaître son intention à l'égard du Nivellement général des départements, au plus tard, en recevant le solde de la partie de l'opération relative aux bases. Faute par lui de s'être expliqué avant ce temps, il sera présumé avoir opté pour la continuation de l'entreprise; il devra commencer cette seconde série d'opérations, aussitôt après la notification qui lui sera faite de la décision par laquelle le Traité sera rendu définitif.

Bourges, le 30 juillet 1857.

Présenté par le soussigné.

BOURDALOUÉ.

(1) Néanmoins, seront déduites du compte toutes les sommes perçues pour les nombreuses lignes de chemins de fer qui feront partie des bases; car les Compagnies qui y ont intérêt offriront, sans doute, de payer le prix entier, ou au moins moitié.

