

# LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques  
et de leurs applications

4<sup>e</sup> Année. — Mars 1905. — N° 3

La Houille noire a fait l'Industrie moderne  
la Houille blanche la transformera.

## LA TOPOGRAPHIE ET LA HOUILLE BLANCHE

Communication faite par M. P. Aristide BERGÈS,  
au Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences,  
tenu à Grenoble en 1904.

### LES NIVEAUX BLONDAT A EAU ET A MERCURE ET LEURS VARIANTES

#### I

Tous ceux qui ont tenté des nivellements, en pays de montagne, se sont bien vite rendus compte de l'extrême difficulté de les mener à bonne fin à l'aide des instruments basés sur l'horizontalité des visées. On peut dire que, jusqu'à présent, la réalisation de semblables nivellements n'est possible qu'à l'aide du baromètre ou du tachéomètre. Or un baromètre est excessivement trompeur, on ne sait jamais s'il est en bon état, et il ne donne, en outre, que des approximations dont le sens même est douteux. Quant au tachéomètre, malgré les remarquables perfectionnements qui lui ont été apportés (tachéomètres SANGUET, SCHRADER, etc.) il demeure un instrument que les spécialistes peuvent seuls mettre en œuvre ; cette mise en œuvre constitue une véritable solennité et donne toujours lieu à des frais importants. On conçoit combien il en résulte de gêne ; on renonce aux vérifications, on renonce à la détermination des cotes de tels ou tels points qu'en cours d'étude on est conduit à considérer et qui sont hors du plan dont on dispose ; les doutes qui surviennent subsistent et tracassent, faute de pouvoir être levés sur l'heure. Bref, on vit sur des à peu près, malgré les sacrifices consentis pour disposer de données précises.

Si, au lieu de considérer, d'une manière générale, les nivellements en pays accidenté, on envisage les nivellements spéciaux des chutes d'eau de grande hauteur, ceux des chemins de fer aériens, des transporteurs par câbles, on constate que le tachéomètre lui-même devient impuissant ; on n'a plus que la ressource de l'altimètre.

Dans un autre ordre d'idée, tous les appareils de nivellements, fondés sur le principe de visées horizontales ou orientées, ont le défaut commun d'exiger un temps clair et des vues libres ; les moindres obstacles, murs, haies, clôtures, obligent à de véritables tours de force et sont la cause de graves complications. On ne peut utiliser ces appareils dans les bois, ni dans les égouts, ni dans les galeries de mines, etc.

#### II

Faut-il renoncer à lever ces difficultés et à doter les ingénieurs ou les géomètres d'un instrument n'ayant aucun de ces inconvénients, permettant de procéder avec simplicité et sûreté à toutes les opérations auxquelles il faut, en l'état, renoncer ou qui sont condamnées à la plus désagréable imprécision ? Nullement, une solution existe, simple, élégante et sûre ; elle est même fort ancienne car on en trouve l'idée dans un mémoire qui remonte à 1840.

Dans les Annales des Ponts et Chaussées de cette année 1840, BLONDAT, alors ingénieur en chef, a abordé ce problème et a proposé de le solutionner à l'aide d'un appareil qu'il appelait : *Niveau à long tube à eau et à mercure*, lequel n'était qu'une variante de son autre appareil appelé : *Niveau d'eau à long tube*, qui jouissait lui-même de nombreuses qualités, parmi les plus précieuses, en matière de nivellement.

Il y a, dans le mémoire de Blondat, des passages d'un style charmant, qu'il vaut mieux citer qu'analyser ; voici tout d'abord son entrée en matière :

Plusieurs branches de notre industrie sont unies entre elles par des liens tels que le progrès des unes n'attend que le progrès d'une autre pour se développer ; aussi n'est-ce pas sans espérance d'arriver à des résultats utiles qu'on essaye de temps à autre de perfectionner les choses de l'usage le plus banal. Il en est un exemple frappant dans la récente histoire du caoutchouc qui, ayant laissé apercevoir quelques propriétés jusqu'alors ignorées, a quitté tout à coup le cabinet du dessinateur où il était presque exclusivement relégué, pour trouver dans les arts une foule d'applications. On en a tiré le plus heureux parti pour l'habillement, l'acoustique, la chirurgie, la médecine, la chaussure, les fermetures hermétiques, les enduits pliants, etc.

Inspiré par cette pensée, nous avons cherché si l'emploi des tuyaux flexibles ne permettrait pas de perfectionner les instruments employés jusqu'ici à faire les nivellements. Cette recherche nous paraissait d'autant plus intéressante que les grands travaux de route, de canaux et de chemins de fer projetés sur tous les points du royaume reposent sur des opérations de nivellement.

Les perfectionnements que nous pensons avoir faits et dont la pratique a déjà permis d'apprécier l'importance sont de trois espèces et présentent des avantages incontestables sous le rapport de la précision, de la célérité et de la facilité des opérations.

Vient ensuite la description du *Niveau d'eau à long tube* ; le tube y est défini comme suit :

Le grand tube a 0<sup>m</sup>014 de diamètre intérieur ; il est en toile doublée avec une feuille de gomme élastique et soutenue dans sa rondeur par une spirale en fer étamé qui permettrait de le fouler aux pieds sans l'écraser. Pour le préserver de l'usure on le revêt d'un étui ou enveloppe en grosse toile.

Vient alors une énumération des avantages de l'appareil ; en voici quelques-uns :

Les opérations, au moyen de cet instrument, peuvent être continuées la nuit tout aussi bien que le jour, en employant une lumière à l'examen des cotes, ce qui n'est pas sans mérite pour les travaux de Paris. Les brouillards, le vent, la pluie et toutes les autres intempéries ne sont plus des causes d'interruption et d'arrêt pour le zèle de l'ingénieur pressé d'arriver à la fin d'opérations de nivellement.

Les bois touffus ne ralentissent plus sa marche ; il peut tenter mille tracés à travers les arbres et les taillis sans être obligé de faire de ces abatages à la hache, qui retardent les études et entraînent des indemnités considérables.

Cet instrument résout aussi des questions qui n'ont jamais pu l'être par les instruments basés sur la rectilignité des rayons visuels. Il est, en effet, le seul qui soit susceptible d'être employé aux opérations judiciaires qui ont pour objet soit le règlement des contestations relatives à des hauteurs d'eau, soit la fixation

des droits d'usine ou d'arrosage. Les différentes cotes de hauteur qui servent à conclure le nivellement peuvent, en effet, être observées par témoins d'une manière précise et être consignées dans un procès-verbal signé de tous, sans qu'on soit obligé de s'en rapporter à la bonne foi et à la justesse du coup d'œil d'un seul arbitre...

La dépense d'exécution de ce genre de niveau est moins élevée que celle des niveaux ordinaires à bulle d'air; elle consiste, savoir :

Robinets et raccords en cuivre des différentes parties du tuyau.....	24 fr.
50 mètres de longueur de tube en gomme élastique, de 0,012 de diamètre, à 2 fr. 50 .....	125 »
(Ceux employés aux essais ont coûté 4 fr., mais ils ont 0,014 de diamètre).	
Tubes en verre appliqués contre les règles.....	12 »
Bénéfice d'artiste .....	19 »
Dépense totale ....	180 fr.

Suit, enfin, la description du *Niveau à long tube à eau et à mercure* :

Nous avons obtenu un genre de niveau propre à mesurer de grandes différences de hauteur et à faire, d'une seule station et en peu de temps, des profils en travers très compliqués, en appliquant à une extrémité de notre tuyau de 50 mètres un tube rempli de mercure et à l'autre extrémité une boule métallique remplie d'eau. Le tube à mercure est gradué à raison de 0,074 par mètre, qui est le rapport entre les pesanteurs spécifiques de l'eau et du mercure. Ce tube, ainsi que la boule à eau, sont pourvus de soupapes qui permettent l'action de la pression atmosphérique.

La manœuvre de cet instrument est aussi des plus faciles.

L'observateur restant assis au point auquel il s'agit de rapporter le nivellement, tenant le tube à mercure entre ses mains, mesure, par l'ascension et la descension du mercure, les hauteurs respectives des différents points sur lesquels il ordonne au cantonnier de poser successivement la boule fixée à l'autre extrémité du tuyau.

La dépense du tube à mercure et de la boule à eau s'élève à 28 francs.

Là s'arrête Blondat.

Après lui, beaucoup plus tard, GALLAND, inspecteur général des Ponts et Chaussées, reprit, sinon ses idées, du moins le long tube, mais il remplaça le mercure par une boîte de manomètre holostérique. L'appareil Galland construit par BRÉGUET fut présenté à l'Association Française pour l'Avancement des Sciences au Congrès de Nantes en 1875; une description sommaire en a été donnée dans les Annales des Ponts et Chaussées de 1876.

On conçoit quel immense progrès réaliserait un appareil Galland si le long tube était tout à fait pratique et si l'aiguille du manomètre pouvait donner, à un ou deux centimètres près, la pression fournie par la colonne d'eau soulevée entre les deux stations dont on cherche la différence de niveau!

Ces diverses conditions ne se trouvèrent pas réalisées dans le modèle livré par Bréguet. Une étude des perfectionnements nécessaires fut entreprise mais demeura sans suite, en sorte qu'il n'exista jamais qu'un seul type et qu'un seul exemplaire du niveau de Blondat à eau et à mercure et du niveau de Galland à manomètre; ces exemplaires sont égarés, sinon perdus aujourd'hui.

### III

J'eus l'occasion de revenir sur ces appareils lors des efforts de mon père pour rechercher des hautes chutes dans les Alpes dauphinoises, à Lancey et aux alentours; l'approximation résultant de l'appréciation visuelle des cotes ou des données des altimètres variait de 50 à 100 mètres dès qu'il s'agissait d'intervalles de 4 à 500 ms, et elle était infiniment plus grande quand les intervalles atteignaient 800 ou 1000 mètres. Comment, sans frais et très rapidement, pouvait-on arriver à plus de précision?

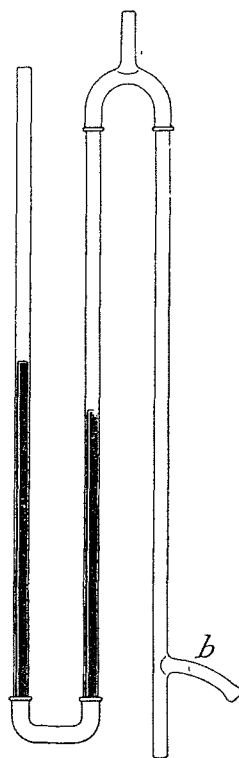


Fig. 1

*Le mercure, les tubes des lectures.* — Tout d'abord on dut abandonner le dispositif de cuvette de Fortin, auquel s'était arrêté Blondat; il empêchait de niveler en contrebas, il ne permettait qu'une seule lecture, il obligeait au rétablissement continu du niveau du mercure. Un tube à mercure en U à deux branches graduées ou accompagnées de règles fut choisi, on l'accompagna d'une troisième branche descendante destinée à fournir une purge d'air en *a* et à recevoir au bas en *b* le tuyau de communication; son diamètre, déterminé par les exigences d'une bonne formation des menisques, était de 7 millimètres. Il n'y avait pas à s'inquiéter de la variation de la hauteur de la surface de séparation du mercure et de l'eau, car elle rentre dans la formule de l'appareil qui donne les différences d'altitude en fonction des lectures.

*Le tuyau de communication.* — Le tuyau de communication, après essai de plusieurs modèles construits dans diverses maisons, finit par être établi d'une manière satisfaisante M. Lance,

alors représentant de MM. Hutchinson et C<sup>ie</sup>, fabricants de caoutchoucs industriels, y apporta une attention et un intérêt qui justifient son souvenir ici. Les conditions à remplir étaient à peu près les suivantes :

a) Invariabilité de la capacité intérieure malgré les variations de pression de l'eau, pouvant passer de 0 à 2,5 atmosphères.

b) Invariabilité de cette même capacité sous de légers efforts de tension et d'étirement, par exemple des chaînettes ou des retombées verticales.

c) Élasticité suffisante pour le rétablissement immédiat de la forme cylindrique après des compressions accidentelles : écrasement sous les pieds, par exemple.

d) Rigidité telle que, dans les boucles qui se produisent lorsque le tuyau est abandonné à lui-même très lâche, il n'y ait pas aplatissement dans les coudes, le vide intérieur devant conserver sa continuité, quelque compliqués que soient les enroulements et les torsions.

e) Résistance suffisante pour supporter les tractions de toute nature au cours des manœuvres : du trainage sur le sol, des accrochages aux branches ou aux pierres, etc...

f) Parois intérieures assez lisses pour qu'un courant d'eau en chasse rapidement et complètement les bulles d'air, et assez résistantes à l'action de l'eau pour qu'elles ne se délitent pas.

g) Surface extérieure assez lisse pour être salie sans inconvénient par la terre, un simple lavage devant suffire pour le nettoyage; assez dure pour ne pas s'écorcher trop facilement.

Toutes ces conditions se trouvèrent remplies par l'emploi d'un caoutchouc de composition courante mais cependant appropriée, sans aucune armature de métal ou de toile et par l'adoption de parois très épaisses par rapport au vide intérieur. Avec un vide de 3 millimètres et des parois de 4 millimètres, le tuyau se présente sous la forme d'un mince filament, très lisse, de 11 millimètres seulement de diamètre total. Il fallut toutefois renoncer à empêcher le gonflement par l'effet de la pression de l'eau et les variations de la capacité intérieure sous les efforts d'allongements.

Un semblable tuyau pèse 120 grammes le mètre et il coûte 8 fr. le kilo, c'est-à-dire à peu près 1 fr. le mètre.

*Le réservoir d'eau.* — Il est appelé à maintenir toujours plein le tuyau de communication et à compenser toutes les variations de sa capacité, ainsi que les variations provenant des mouvements du mercure dans l'U où il est renfermé. On pouvait, à l'aide d'un flotteur ou d'une paroi élastique, ramener le niveau de l'eau dans ce réservoir à passer par un repère fixe, mais il est plus simple de tenir sa surface assez grande pour que les changements de capacité des tubes n'influencent la hauteur de l'eau que de quantités négligeables. Avec les dimensions données plus haut, une surface cylindrique de 20 cms de diamètre répond à cette condition.

## IV

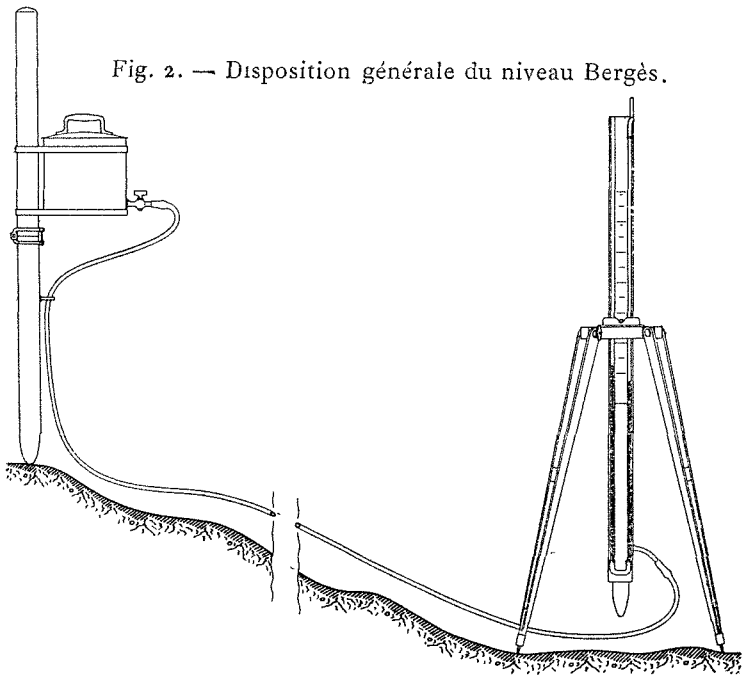
Ainsi établi, l'appareil se présente comme l'indique la figure 2 ; il comprend trois parties :

1° Un réservoir muni d'une pointe qui permet de le mettre en station et qui contient de l'eau dont la hauteur au-dessus de la pointe est pratiquement invariable.

2° Un tuyau de communication en caoutchouc, partant du fond du réservoir et ayant telle longueur qu'on le désire, 25, 50, 100 et même 150 mètres ; tuyau constitué par des bouts de 15 à 20 mètres réunis très simplement par une ligature sur les deux extrémités d'une olive creuse placée intérieurement.

3° Un tube en U plein de mercure jusqu'à mi-hauteur, librement ouvert dans l'air d'un côté et recevant de l'autre l'extrémité du tuyau de communication. Contre les deux branches de l'U sont deux règles graduées en mètres, ou si l'on veut en hauteur d'eau. Ce tube en U est porté par une canne en bois dans laquelle il s'enfonce complètement et qui est munie d'une pointe permettant de la tenir verticalement sur un point donné quelconque du sol.

Fig. 2. — Disposition générale du niveau Bergès.



Le réservoir étant placé sur un point B et les tubes à mercure sur un point A supposé plus bas, le mercure est refoulé par la pression de la colonne d'eau B A, on lit les règles dans chaque branche de l'U et on a directement, ou à l'aide d'un calcul très simple, selon le mode de graduation adopté, la différence de niveau B A. L'opération est la même si le point B est plus bas que le point A, la dénivellation du mercure est alors en sens inverse, mais elle se trouve limitée, dans ce cas, à une différence de 40 mètres au delà de laquelle le vide se produirait dans l'appareil. Dans le cas du refoulement du mercure il n'y a d'autre limite de grandeur à la différence B A, qu'on peut mesurer dans une seule opération, que la difficulté

pratique de faire un tube en U à très longues branches.

Les correspondances entre les hauteurs de mercure soulevé et les différences d'altitudes correspondantes sont, à des constantes près :

Dénivellations totales du mercure.	Différences d'altitudes correspondantes.
0 <sup>m</sup> 000765	0 <sup>m</sup> 01
0 <sup>m</sup> 001	0 <sup>m</sup> 013
0 <sup>m</sup> 0765	1 <sup>m</sup> 00
0 <sup>m</sup> 765	10 <sup>m</sup> 00
1 <sup>m</sup> 530	20 <sup>m</sup> 00

La position des ménisques étant facilement observable à 0<sup>m</sup>000765 près, l'instrument a pour limite de précision le centimètre.

Il importe, si on tient à cette précision, que les tubes des lectures soient immobiles et verticaux à chaque opération, ce qui oblige à les suspendre sur les anneaux de Cardan portés par trois pieds. Un trépied d'appareil photographique ordinaire est très suffisant ; il faut avoir soin seulement de fendre les deux anneaux externes pour pouvoir enlever et poser facilement par le côté les tubes portant le troisième anneau et ses tourillons. Tout cela est excessivement simple et peut supporter une très grande rusticité dans l'exécution. En pratique courante, au surplus, on peut tenir simplement la canne à la main et se dispenser de tout trépied.

Comme détail de construction, on peut signaler la nécessité, pour éviter une trop grande fragilité et pour faciliter le remplissage et le réglage du mercure, de constituer le coude de l'U par une boîte en fer à deux presse-étoupes munie d'une vis latérale de vidange. Quant à la hauteur de l'U on ne peut guère dépasser 1<sup>m</sup>70, ce qui permet de mesurer en une seule fois des différences d'altitude de 20 mètres.

Le réservoir d'eau est un cylindre en zinc ou cuivre attaché contre une tige en bois léger munie d'une pointe à coulisse : on le porte à l'aide d'une anse comme un seau de ménage ; il est complété par un couvercle empêchant les pertes d'eau pendant le transport.

Les ouvriers de petits ateliers de village sont très suffisants pour ajuster les pièces et établir entièrement la canne en bois, la boîte en fer et le réservoir d'eau.

## V

Deux hommes suffisent pour mettre en œuvre un appareil ainsi établi, ayant un tuyau de communication de 50 mètres ; au delà de 50 mètres il est avantageux d'avoir un aide chargé spécialement des déplacements du tuyau. Mais on passe absolument partout, par dessus les clôtures et les haies, à travers les fourrés, etc., on peut descendre le long des à pic rocheux à l'aide d'échelles et de cordages et poursuivre ainsi le nivellement, sans qu'il perde rien de sa précision. Sur un profil piqueté, le long des plus grandes pentes du sol, dans des gorges boisées et abruptes, on peut descendre ou monter de 500 mètres en 5 heures, en relevant 100 à 120 cotes. Si on ne s'astreint pas à passer sur des piquets donnés et qu'on veuille simplement la différence entre le point de départ et le point d'arrivée, tous les chemins deviennent bons, et la vitesse moyenne de la descente ou de la montée, en nivelant, s'est trouvée constamment, au cours d'un grand nombre d'expériences, de la moitié à peu près du pas tranquille d'un promeneur, c'est-à-dire, en chiffres, d'environ 150 mètres de hauteur verticale à l'heure.

On traîne le tube sur le sol, s'il s'y prête, ou bien on le soulève, on le prend en paquets dans les bras, on le laisse s'emmeler à sa fantaisie ; avec un peu d'habitude, il n'en résulte jamais de difficultés pour le développer ensuite.

P. Aristide BERGÈS.