

HYDRAULIQUE

A la Mémoire d'Henri Bazin

Hydraulicien, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, Membre de l'Académie des Sciences (1829-1917).

A Dijon a été inauguré le 12 décembre 1922 un monument élevé par souscription internationale à la mémoire d'Henri Bazin. Etant donné la place qu'a pris cet illustre savant parmi les fondateurs de l'hydraulique, nous sommes certains que l'hommage que nous lui rendons en lui consacrant ici quelques pages sera apprécié de tous les lecteurs de la Houille Blanche.

Le Comité qui s'était formé en 1920 pour honorer la mémoire d'Henri Bazin (1), a remis solennellement à la ville de Dijon (2) le monument destiné à perpétuer le souvenir du grand savant. C'est bien à cette ville où il vécut et travailla 69 ans que revenait l'honneur de conserver son souvenir.

Né à Nancy en 1829, Henri-Emile Bazin entra à l'Ecole Polytechnique en 1846, et à l'Ecole des Ponts et Chaussées en 1848. Peu d'années après sa sortie de cette Ecole (il fut nommé d'abord au poste de Saint-Flour), il obtenait le poste de Tonnerre, au service du canal de Bourgogne. Enfin, le 11 mars 1854, il remplaçait M. Vallée à Dijon, dans ce même service, et il ne devait plus quitter cette ville jusqu'à sa mort, si ce n'est pendant les quatre années qu'il passa à Paris comme Inspecteur général des Ponts et Chaussées.

A Dijon, il tombait en plein centre de recherches hydrauliques.

En ce jeune ingénieur de 27 ans, que le hasard lui donnait pour collaborateur, Darcy, l'organisateur de ces recherches, discerna le disciple d'élite, capable de l'assister, de le comprendre, de lui succéder. De suite, il l'associa aux vastes expériences qu'il poursuivait sur l'écoulement des canaux découverts, les remous et la propagation des ondes, expériences dont Bazin resté seul, devait dégager la portée et publier les résultats.

(1) La souscription internationale organisée a réuni une somme totale de 65.049 francs. L'érection du monument et la fabrication de la médaille Bazin ont laissé un important reliquat, qui a été remis à l'Académie en vue de la fondation d'un prix Bazin.

(2) Des discours ont été prononcés par M. Gaston Girard, maire de Dijon ; M. Charles Rabut, Inspecteur général des Ponts et Chaussées en retraite, ancien Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Vice-Président du Comité Bazin ; M. Archinard, Ingénieur en chef de la ville de Genève ; M. G. Königs, membre de l'Institut ; M. Yves Le Trocquer, Ministre des Travaux publics.

Le discours de M. Lemoine, Membre de l'Institut, Président du Comité du monument, malade et d'ailleurs décédé deux jours après l'inauguration, a été lu par M. d'Ocagne, membre de l'Institut.

Ces discours ainsi qu'une notice sur la vie et les œuvres de Bazin, par M. Eydoux, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Professeur suppléant à l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, ont été réunis dans une brochure dont nous extrayons la plupart des pages publiées ici.

L'hydraulique peut être considérée comme la plus ardue de toutes les sciences, à cause des difficultés spéciales qu'elle oppose d'une part à l'expérimentation, d'autre part au calcul, difficultés dues à la délicatesse et à la complexité des mouvements qui ont pour siège les eaux courantes, lesquels constituent le principal objet des applications de cette science.

Son principe fondamental consiste dans l'expression de ce qu'on appelle la *résistance intérieure ou locale* d'un liquide en mouvement, c'est-à-dire de la force moléculaire qu'il oppose, en un point donné, à la déformation. En 1863, date de la publication des premières *Recherches hydrauliques* de Bazin, l'enseignement était encore basé, faute de mieux, sur la théorie de Newton qui avait assimilé la résistance locale de l'eau courante à un phénomène de *viscosité*, ce qui conduisait à faire dépendre la résistance locale uniquement de la rapidité ou de

la brusquerie de la déformation locale, c'est-à-dire de la *vitesse de l'écartement* de deux particules infiniment voisines ou de l'*accélération* de cet écartement.

Cependant, on savait déjà que les conséquences observables de cette hypothèse ne se vérifient que dans le cas de vitesses extrêmement faibles, par exemple, pour l'écoulement dans un *tube capillaire*. Le service des Ponts et Chaussées envisage des faits d'un autre ordre de grandeur.

En présentant à l'Académie des sciences le premier mémoire de Bazin, le général Morin constatait, en termes catégoriques, cette insuffisance de la théorie : il exprimait l'avis qu'en matière d'hydraulique, les faits observables sont trop complexes pour permettre un emploi longtemps prépondérant de la méthode déductive, plus brillante, mais moins sûre, et que cette science doit plutôt attendre ses progrès d'une application persévérante de la méthode expérimentale.

L'œuvre de Bazin n'a été autre chose que la mise à exécution de ce programme pendant une quarantaine d'années consécutives.

Il forme, dans la Mécanique appliquée, un monument unique par son ampleur, par la majestueuse simplicité du plan, par l'abondance, l'à-propos et la précision des détails, enfin et surtout par la limpidité, le naturel et la franchise du style, qui personnifie la probité scientifique de l'auteur et fait que ses conclusions, quoique toujours nouvelles et souvent hardies, ne paraissent ni



hardies, ni même nouvelles, tellement elles s'imposent d'elles-mêmes. C'est à cette valeur littéraire — trop peu remarquée peut-être — que les règles pratiques posées par Bazin ont dû être si rapidement adoptées par les techniciens à l'étranger comme en France. A leur exactitude, elles doivent d'y *rester* en usage de préférence à d'autres plus anciennes ou plus récentes.

Mais autre chose était de faire adopter, pour la pratique, des formules rigoureusement contrôlées dont le besoin se faisait sentir depuis plus d'un siècle, autre chose de faire passer dans l'enseignement scientifique les principes nouveaux que ces formules contenaient implicitement. Car il ne s'agissait pas seulement de corriger l'hypothèse de Newton en remplaçant la *viscosité* reconnue inopérante, par quelque propriété intrinsèque de l'eau ; il fallait faire admettre que ce mode de réaction intérieure n'était pas un *caractère absolu* et personnel de la nature d'un liquide, mais dépendait, au contraire, de la résistance extérieure opposée par la paroi d'un tuyau ou d'un canal, et, par conséquent, des dimensions de la section transversale, du degré de rugosité de la paroi, enfin de la vitesse du liquide contre la paroi ou, ce qui revient au même, de la vitesse moyenne de translation de la masse fluide. Ce fait paradoxal était, en effet, la conséquence nécessaire des lois expérimentales de la distribution des vitesses dans un tuyau ou canal rigoureusement établies par les mesures de Bazin.

On a même, depuis lors, démontré très simplement que ces lois entraînent l'impossibilité absolue d'exprimer la résistance locale en fonction de la déformation locale. (1).

Dès que ce paradoxe fut mis en lumière, plusieurs théoriciens de l'hydraulique, plutôt que d'admettre ce qui était pour eux un outrage au sens commun, conçurent très sincèrement des doutes sur la valeur des expériences : « Voudrait-on croire », écrivait l'un des plus qualifiés, et par sa science et par sa droiture (2), « qu'un corps perd son *identité* quand on l'anime d'un certain mouvement ? ». Ceux qui étaient à même de connaître l'impeccable habileté opératoire de Bazin et de son distingué collaborateur — notre camarade Hégly — s'inclinèrent loyalement devant le verdict de la réalité, mais non sans souffrir dans leur entendement, de ce que l'un des plus pénétrants d'entre eux, Barré de Saint-Venant, nommait expressivement « *La désespérante énigme de l'Hydraulique* » et que la langue d'aujourd'hui appelle proprement la *Relativité de la résistance intérieure des fluides*.

Modeste et même timide — sauf quand le devoir commandait — mais sûr de lui-même, Bazin fit remarquer que la force vive absorbée par la résistance intérieure peut passer dans des mouvements tourbillonnaires prenant naissance à la paroi et se propageant de là vers l'intérieur du courant liquide.

Bien que le mécanisme de cette action n'ait pas été élucidé, même approximativement, elle paraît nécessaire et suffisante pour faire comprendre que la vitesse à la paroi et le conditionnement de cette paroi puissent avoir une influence sur ce qui nous paraît être une résistance intérieure. Mais elle est incompatible, non seulement avec l'hypothèse du mouvement de l'eau par filets parallèles, implicitement admis par Newton, mais encore avec l'*uniformité* et même avec la *permanence* de ce mouvement (3).

On comprend donc sans peine le trouble que de pareilles révélations devaient jeter dans la conscience des savants.

Ce qui est certain, en tous cas, c'est que Bazin avait raison. Sa revanche, d'ailleurs, ne tarda guère et elle fut éclatante.

Ses lois expérimentales avaient rencontré le théoricien clairvoyant et sagace qui, loin de les méconnaître, devait en affirmer la possibilité rationnelle et les prendre hardiment pour base d'une théorie entièrement nouvelle des eaux courantes. Sous la plume magistrale de M. Boussinesq, le calcul allait, pour la première fois, donner des résultats remarquablement conformes à la réalité dans les problèmes réels de l'application.

Cette fois, le charme était rompu : les nouveaux principes nécessaires à l'Hydraulique pouvaient entrer enfin de plain-pied dans l'Enseignement ; la méthode expérimentale — ce qui est peut-être plus important — allait y prendre la place prépondérante que le Général Morin avait souhaitée pour elle, et cela sans que fût commise la faute de sacrifier à son tour, par voie de réaction, la méthode déductive, dont l'emploi opportun n'est pas moins indispensable à l'épanouissement complet de cette science.

* * *

Bazin débuta donc à Dijon comme collaborateur de Darcy. L'hygiène urbaine avait fait des progrès, les premiers grands travaux d'alimentation en eau des villes commençaient, et c'est à propos de la distribution d'eau de Dijon que Darcy avait fait ses premières expériences, et avait donné tant pour les conduites forcées que pour les canaux découverts des formules que certains auteurs ont qualifié d'empiriques, mot inexact en raison de son sens péjoratif, et qu'il vaut mieux remplacer par expérimentales. C'est d'ailleurs à ce propos que Darcy avait imaginé la modification au tube de Pitot qui porte son nom.

En même temps, la loi de 1850 avait fixé le réseau de la navigation intérieure et il s'agissait de le réaliser ; pour des raisons trop évidentes pour que nous les détaillions, il fallait fixer, de même qu'on l'avait fait pour la vapeur (1), toute une série de mesures pour l'eau ; Darcy, désigné par ses premières recherches, les avait continué sur la rigole d'alimentation du Canal de Bourgogne sous les auspices de l'Académie des Sciences et du Ministère des Travaux publics ; Ritter et Baugmarten y participèrent ensuite sous sa direction, mais ce fut à Bazin que revint l'honneur de les développer, de les terminer et d'en tirer, après un travail personnel d'une étendue considérable, les conclusions définitives.

Comment d'autre part pouvait-on y procéder ? Si les recherches antérieures, si les théories de l'énergétique ont permis depuis longtemps d'énoncer en hydraulique des théorèmes généraux et incontestés, il ne faut pas croire que leur application soit possible en pratique ; d'ailleurs, même dans les cas les plus simples, tant de phénomènes secondaires se produisent qui viennent masquer ou déformer le phénomène principal.

Dans l'hydraulique, peut-être encore plus que dans les sciences physiques, la théorie ne peut se développer sans être accompagnée, sinon précédée, par l'expérience. Au moment où Darcy et

(1) V. Ch. Rabut, *Cours d'hydraulique de l'Ecole des Ponts et Chaussées* (1909-1910), pages 140 à 146.

(2) V. Bresse, *Cours d'hydraulique de l'Ecole des Ponts et Chaussées*.

(3) V. Ch. Rabut, *loc. cit.* — Boussinesq, *Essai sur le mouvement des Eaux courantes*, page 1 et suivantes.

(1) Avant la naissance de Bazin, la première Compagnie de Chemins de fer venait de se créer en France ; il était nécessaire que la construction du nouvel engin pût être basée sur des données numériques précises et que l'on sût calculer à l'avance sur un projet de machine combien de travail elle pourrait fournir et combien de chaleur il faudrait lui donner. En 1821, le Gouvernement français avait déjà confié à Dulong et Arago la mission d'effectuer les mesures nécessaires, mais ceux-ci avaient à peine commencé les travaux préliminaires et repris l'étude de la compressibilité des gaz en vue de construire un manomètre, que des difficultés administratives vinrent tout arrêter. Vingt ans plus tard, en 1841, le besoin devenant de toute urgence, le Ministère des Travaux publics reprit le même projet et en confia l'exécution à Regnault, particulièrement désigné par ses travaux récents en calorimétrie.

Bazin ont commencé, cette théorie était encore assez peu avancée : il lui fallait s'appuyer sur l'observation précise des faits, en sériant les essais de manière à faire intervenir l'une après l'autre les causes qui influent sur les phénomènes ; c'est exactement ce qu'ont fait Regnault et Bazin et c'est tant dans leur origine, recherches imposées par de grands travaux d'utilité nationale, chemins de fer et navigation, que leurs modalités, expérimentation méthodique et précise autant que prudente et progressive, qu'on peut trouver un parallélisme extrêmement remarquable entre les carrières de deux ingénieurs qui furent en même temps des savants de grand mérite. Regnault, Inspecteur Général des Mines, qui prit la suite des recherches de Dulong et Arago, et Bazin, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, qui continua Darcy.

Nous ne pouvions d'ailleurs mieux caractériser le mode de travail et la conscience scientifique de l'un et de l'autre qu'en citant un fragment d'une lettre de Regnault à Mascart qu'il avait chargé de lire un mémoire et de lui signaler les observations qu'il pourrait avoir à lui faire.

« ... Vous trouverez probablement ce travail bien long, vous jugerez qu'il eût été plus simple, plus sage d'en supprimer une partie, et de ne publier que les expériences auxquelles je me suis arrêté définitivement. Ce n'est pas mon avis : je tenais beaucoup à maintenir l'ordre historique, c'est-à-dire celui que j'ai réellement suivi et qui m'a fait reconnaître successivement toutes les causes qui influent sur les phénomènes. Les expériences anciennes ont été faites avec la même précision que les nouvelles, et quand elles présentent des différences, cela tient à l'influence de causes particulières que je concevais déjà bien dès cette époque, mais auxquelles j'accordais une influence moindre ».

Ce texte pourrait, sans qu'on y change un mot, porter la signature de Bazin. Son œuvre fut donc surtout expérimentale ; sa formation d'origine était surtout mathématique ; on verra dans la liste de ses œuvres qu'il avait commencé à publier des travaux dans ce sens ; il avait, entre autres, traduit le *Traité d'Algèbre supérieure* de Salmon ; et il lui fallut beaucoup de mérite pour avoir compris tout l'intérêt que présentait l'étude expérimentale de certains points de vue bien ingrats des phénomènes hydrauliques adoptés d'abord par la plupart de ses contemporains et débrouillé la complexité des phénomènes.

Voyons maintenant en quoi consiste les travaux de Bazin et leur importance.

Son nom est surtout attaché à l'étude de deux phénomènes : l'écoulement de l'eau en mouvement uniforme et la propagation des ondes dans les canaux découverts et l'écoulement de l'eau par les déversoirs, ainsi que la recherche de formules permettant d'arriver à des résultats numériques dans les différents cas pratiques, car « on ne connaît vraiment une science que lorsqu'on peut la traduire en nombres ». Ce n'est pas à dire qu'il n'ait pas abordé d'autres points de l'hydraulique, mais c'est surtout à ceux que nous venons de citer qu'il a attaché son nom.

Le plus considérable de ses travaux, en deux mémoires intitulés respectivement *Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts*, *Recherches expérimentales relatives aux remous et à la propagation des ondes*, occupent tout le tome XIX du *Recueil des Savants étrangers à l'Académie des Sciences*, sur le rapport qu'en firent le Général Morin et Clapeyron, en 1863. Ce fut l'œuvre maîtresse de Bazin et il y revint à plusieurs reprises.

Le premier point de son travail a été de montrer l'influence de la rugosité des parois sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts, par analogie avec ce qu'avait trouvé Darcy pour les conduites sous pression.

Avant lui on se servait d'une formule générale très simple, la formule de Tadini, dérivée elle-même de celle de Chézy, mais qui conduisait à de graves erreurs parce qu'elle ne tenait pas compte de la nature du lit.

Bazin a montré la très grande influence de cette donnée négligée jusqu'alors. Elle s'exerce de loin par les variations de vitesse qu'elle apporte dans les filets liquides et son action retardatrice varie suivant qu'il s'agit de maçonneries plus ou moins unies, de sable, de terre, etc... ; au milieu des circonstances infiniment variées qu'introduit la pratique, il a cherché à déterminer les coefficients correspondant à des natures de canaux bien déterminés (il a envisagé à la fin de ses travaux six catégories de cette espèce) entre lesquelles on peut interpoler les cas en présence desquels on se trouve ; partant d'une formule binôme, analogue à celle de Chézy dont nous avons parlé, il est arrivé alors à la formule bien connue des hydrauliciens :

$$u = \frac{87 \sqrt{Ri}}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Ces essais, faits avec un soin extrême, avec emploi du tube jaugeur de Pitot-Darcy, l'ont conduit à étudier la répartition des vitesses dans un profil transversal de canal et à montrer que, par suite du tourbillonnement qui se produit à la surface libre, le filet de vitesse maximum se trouve, non sur la dite surface, mais au-dessous ; il a vérifié d'ailleurs que dans un canal très profond, où ce sont surtout les tourbillons venus des parois qui interviennent, le filet de vitesse maximum se rapproche d'autant plus de la surface libre que le canal est plus large.

Envisageant en même temps les mouvements turbulents de l'eau, mouvements qui changent à chaque instant et qui font en somme que la notion de mouvement uniforme n'apparaît que comme une fiction, il a introduit la notion de *mouvement moyen* qui a été si féconde dans les travaux de M. Boussinesq avec lequel Bazin entretint pendant sa vie d'excellentes relations d'amitié.

Il a alors montré que, en faisant abstraction des phénomènes perturbateurs qu'il avait d'ailleurs mis en lumière, la répartition des vitesses obéissait à des lois simples dont il a donné les formules.

A peu près vers la même époque, deux ingénieurs américains, Humphreys et Abbot, avaient procédé à des études analogues sur le Mississippi et étaient parvenus à des conclusions différentes de celles de Bazin. Il semblait donc que l'hydraulique des grands fleuves ne ressemblait en rien à celle des canaux ; sans se laisser arrêter par cette contradiction apparente, Bazin entreprit la critique de la méthode expérimentale utilisée par les Américains, étaya son argumentation sur des essais analogues faits sur d'autres fleuves et montra que, finalement, il n'y a pas de lois hydrauliques spéciales pour les grandes rivières.

Bazin s'attaqua ensuite à la propagation des intumescences en ondes de translation dans les canaux, voie où l'avaient précédé Bidone et Scott Russel ; il a étendu les essais de ses prédécesseurs et montré que dans un cours d'eau à régime tranquille et malgré l'inégale répartition des vitesses, la vitesse de propagation s'obtient en composant avec la vitesse moyenne du courant, la vitesse de propagation de l'onde dans une nappe d'eau immobile. Pour les cours d'eau à régime torrentiel, il a, sinon dégagé la loi, du moins fourni à la théorie les observations qui lui ont permis de la vérifier. Enfin, il a ajouté à l'étude des ondes isolées, et en particulier de l'onde solitaire, celle des remous indéfinis, c'est-à-dire la propagation d'un courant dans un milieu liquide au repos ou dans un autre courant et s'est ainsi approché beaucoup

de l'explication du *mascaret* qu'il considère comme une série continue d'ondes élémentaires qui, en raison de l'exhaussement progressif du niveau, cheminent avec une vitesse croissante ; elles s'accumulent donc vers le front de l'onde et peuvent ainsi produire, dans certaines conditions, un gonflement considérable, suivi, si le pied est ralenti par un relèvement du fond, du phénomène de déferlement.

Une autre des idées maîtresses de Bazin a été de considérer le phénomène du ressaut, défini par Bidone et qui correspond à un changement de régime dans le mode d'écoulement des cours d'eau, comme une onde entraînée par le courant avec une vitesse égale et de sens contraire à celle de la vitesse de propagation ; le ressaut reste ainsi sensiblement stationnaire. Comme l'a indiqué M. Boussinesq, cette remarque, appliquée à une onde négative, c'est-à-dire à une dépression, au lieu d'une intumescence, a permis d'expliquer le principe du débit maximum, qui régit, soit l'écoulement de l'eau en déversoir libre (c'est-à-dire quand le niveau aval est assez bas pour ne pas influencer le phénomène sur le déversoir), soit l'écoulement d'un gaz par un orifice sous une différence de pression suffisamment grande. L'idée de Bazin a donc permis d'étendre la zone d'application de ce principe qui paraît dominer, sans qu'on ait pu en donner encore la généralisation entière, tous les phénomènes de l'hydraulique.

Les travaux parus dans le *Recueil des Savants étrangers*, s'ils sont la plus grosse part des études de Bazin sur les points que nous venons de signaler, n'en représentent cependant pas la totalité. Il ne les a pas perdus de vue par la suite et n'a cessé, comme on le verra par la liste de ses publications, d'y ajouter des compléments toutes les fois qu'il en a eu l'occasion ; ainsi, ce n'est pas du premier coup, mais seulement après les retouches successives, que la formule des canaux découverts a paru sous la forme que nous avons donnée plus haut.

Après ces recherches nous citerons encore, comme ayant le plus de notoriété, ses expériences sur le débit des déversoirs qu'il a développés au cours de nombreuses publications parues dans les *Annales des Ponts et Chaussées* pour les condenser enfin dans une brochure unique qui en est comme le résumé et la synthèse. Il a expérimenté dans les conditions les plus variées et en apparence les plus complexes de manière à ce qu'on puisse, dans des cas extrêmement nombreux, calculer, avec une exactitude suffisante le coefficient numérique m que l'on doit introduire dans la formule bien connue des déversoirs.

$$Q = m l h \sqrt{2 g h}$$

Ayant tout d'abord déterminé la valeur de m pour un déversoir en mince paroi et en nappe libre et dans les divers cas d'influence dues au niveau aval, il a étudié le débit de presque toutes les formes imaginables de déversoirs, non pas en cherchant la valeur absolue du nouveau coefficient M , mais en déterminant le rapport $\frac{M}{m}$, ce qui lui a permis de classer plus aisément les résultats donnés par chaque type de déversoir et d'arriver à des formes très simples pour les applications pratiques.

Ces expériences, au nombre de plusieurs milliers, ont permis à Bazin de reconnaître l'existence d'une contraction se produisant sous la nappe, dans un déversoir en mince paroi, à l'issue de la crête ; cette contraction, analogue à celle de la veine sortant d'un orifice, réduit le débit d'un sixième environ ; enfin il a complété ses recherches par la mesure des pressions dans l'intérieur des nappes, la détermination du point où la pression devient minimum, etc...

La formule qu'il a donnée à propos des déversoirs en mince

paroi donne lieu à une remarque capitale sur la valeur de Bazin comme expérimentateur. Ses essais ont été effectués avec des appareils de mesure que l'on reconnaît aujourd'hui comme peu aptes à donner beaucoup de précision, les tubes de Pitot-Darcy, surtout en présence des faibles vitesses mises en jeu. Et cependant les essais ont été faits avec de tels soins, les conditions expérimentales ont été si bien définies que l'emploi du déversoir de Bazin en mince paroi avec application de sa formule est encore aujourd'hui le procédé de choix utilisé pour les jaugeages. Est-il beaucoup d'ingénieurs, parmi ceux qui emploient ce système et qui n'ont plus qu'à mesurer rapidement quelques dimensions pour obtenir un résultat exact, qui se rendent compte des difficultés et des tâtonnements par lesquels a dû passer Bazin, tant pour faire ses expériences qu'ensuite pour les interpréter et définir les coefficients numériques ?

Nous ajouterons en outre que M. Boussinesq, ayant cherché à traiter analytiquement le phénomène de l'écoulement sur un déversoir en mince paroi par l'application du principe du débit maximum, a retrouvé par le calcul les coefficients numériques trouvés par Bazin dans ses expériences, montrant ainsi leur accord parfait avec la théorie la plus élevée.

Il ne faut pas croire d'ailleurs que Bazin ait limité son champ de recherches hydrauliques au domaine déjà très étendu dont nous venons de parler ; il a encore fixé nos idées sur l'écoulement par les orifices grâce à de nombreux mesurages effectués avec des tubes de Pitot-Darcy extrêmement fins ; il a étudié les pressions régnant dans le plan de l'orifice et la répartition des vitesses dans la veine montrant qu'au centre la vitesse variait entre 63 et 69 % de celle qui existe sur les bords. Enfin, il a rectifié et complété les anciennes observations de Darcy sur les tuyaux et étudié la répartition des vitesses dans une section transversale, établissant ainsi l'analogie presque absolue entre l'écoulement dans un canal semi-circulaire coulant à pleins bords avec surface libre, et l'écoulement sous pression dans une conduite circulaire de même diamètre.

* * *

Les travaux d'Henri Bazin sont d'ailleurs venus à une époque propice ; au moment où les questions hydrauliques ont été à l'ordre du jour dans le monde entier, c'est lui qui, dissipant l'obscurité qui enveloppait les phénomènes dont on cherchait à se servir, a su, par une expérimentation impeccable et une persévérance dont il n'existe que peu d'exemples aussi marqués, donner des formules pratiques, dépouillées de tout appareil mathématique compliqué et directement utilisables par les ingénieurs et les praticiens.

Nous ne pouvons pas reproduire ici toutes les appréciations qui ont été portées sur Henri Bazin, soit à sa mort dans les nombreux articles nécrologiques parus dans tous les pays, soit envoyées par les ingénieurs étrangers à l'occasion de la souscription. Disons simplement qu'elles ont été toutes fort élogieuses, et terminons par celle formulée en 1900 par M. Boussinesq lorsque Bazin fut présenté et nommé membre correspondant de la Section de Mécanique à l'Institut :

« En résumé, l'analyse, que j'ai dû abréger beaucoup, de son œuvre, montre en M. Bazin un expérimentateur de premier ordre, doué à la fois d'un vif sentiment des choses et de la persévérance nécessaire pour en explorer exactement les détails. Ajoutons que sa notoriété est universelle ; depuis trente ans, il ne paraît, à l'étranger autant qu'en France, aucun cours de mécanique appliquée qui ne contienne les formules de M. Bazin comme l'expression du dernier état de nos connaissances sur les

lois du régime uniforme dans les canaux et dans les cours d'eau ».

C'est cette dernière citation qui nous paraît le mieux caractériser Henri Bazin. Ce fut un savant qui eut le génie de comprendre, dans le domaine ardu où il évoluait, que la science ne pouvait servir que de guide, mais qu'elle devait s'effacer souvent devant l'expérimentation. Une fois orienté dans cette voie, il sut y concentrer tous ses efforts, faire ses expériences avec cette loyauté et cette conscience sans lesquelles la bonne expérimentation n'existe pas : enfin, bien adapté à cette nouvelle situation, il sut diriger et disposer ses travaux de façon qu'aucun fait ne lui échappât et les traduire en formules à la fois rationnelles et pratiques pour en permettre l'utilisation.

Nous n'entendons donc pas dire par là que ses formules res-

teront toujours intangibles. Les théories de la similitude des fluides, énoncées par Osborne Reynolds et sur lesquelles travaillent actuellement de nombreux hydrauliciens, conduiront probablement à leur donner des formes différentes. C'est d'ailleurs le rôle des formules d'évoluer avec les développements de la théorie ; mais ce fait n'enlève rien à la valeur des travaux de Bazin. Car, grâce aux soins minutieux avec lesquels elles ont été faites, ses expériences devront à toute époque être consultées et l'on y trouvera toujours une base solide pour étayer les théories nouvelles auxquelles le développement de l'hydraulique pourra conduire ses successeurs, de même qu'elles seront toujours un modèle à suivre pour les expériences nouvelles que l'on jugera nécessaire d'instituer.

LISTE DES TRAVAUX DE H. BAZIN

HYDRAULIQUE

1. Recherches hydrauliques. — 1^{re} partie : Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau sur les canaux découverts (*Recueil des Mémoires des savants étrangers*, t. XIX, 1865).
2. Recherches hydrauliques. — 2^e partie : Recherches expérimentales relatives aux remous et à la propagation des ondes (*Recueil des Mémoires des savants étrangers*, t. XIX, 1865).
3. Etude comparative des formules nouvellement proposées pour calculer le débit des canaux découverts (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1871).
4. Discussion des expériences les plus récentes sur la distribution des vitesses dans un courant (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1875).
5. Notice sur l'emploi des doubles flotteurs pour la mesure des vitesses dans les grands cours d'eau (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1884).
6. Expériences sur la propagation des ondes le long d'un cours d'eau torrentueux (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 15 juin 1885).
7. Note sur la mesure des vitesses à l'aide du tube jaugeur (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1887).
8. Expériences sur l'écoulement en déversoir — Nappes libres (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 25 juillet 1887).
9. Expériences sur l'écoulement en déversoir. — Nappes adhérentes et noyées (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1887).
10. Expériences sur les déversoirs à seuil épais. — Barrages à poutrelles (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 14 mai 1888).
11. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (1^{er} fascicule) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1888).
12. Expériences sur les déversoirs. — Barrages inclinés (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 17 juin 1889).
13. Expériences sur les déversoirs. — Mesures des pressions et des vitesses dans l'intérieur des nappes (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 17 février 1890).
14. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (2^e fasc.) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1890).
15. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (3^e fasc.) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1891).
16. Expériences sur les déversoirs. — Nappes noyées en dessous (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 20 juillet 1891).
17. Expériences sur les déversoirs noyés (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 13 février 1893).

18. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (4^e fasc.) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1894).
19. Expériences sur la contraction des veines liquides et la distribution des vitesses dans leur intérieur (*Recueil des Mémoires des Savants Etrangers*, t. XXXII, 1895).
20. Expériences nouvelles sur la distribution des vitesses dans les tuyaux. (*Recueil des Mémoires des Savants Etrangers*, t. XXXII, 1896).
21. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (5^e fasc.) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1896).
22. Formules nouvelles pour le calcul du débit des canaux découverts (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1897).
23. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1898).
24. Expériences nouvelles sur l'écoulement en déversoir. — Résumé des articles parus dans les *Annales des Ponts et Chaussées* de 1888 à 1898 (Paris, Dunod, 1898).
25. Etat instable et changement de forme de certaines veines liquides (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1904).

ANALYSE

26. Sur une question relative aux déterminants (*Journal de Mathématiques de Liouville*, 1851).
27. Sur la théorie de la composition des formes quadratiques (*Journal de Mathématiques de Liouville*, 1851).
28. Démonstration d'un théorème sur les déterminants (*Journal de Mathématiques de Liouville*, 1854).
29. Sur la composition des formes quadratiques à quatre variables (*Journal de Mathématiques de Liouville*, 1854).
30. Traduction adaptée du Traité d'algèbre supérieure de Salmon, 1868.

TRAVAUX DIVERS

31. Mémoire sur l'Etat de la navigation intérieure en France (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1867).
32. Note sur le service de touage à vapeur établi au souterrain de Pouilly (Canal de Bourgogne) (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1868).
33. Notice sur l'agrandissement du réservoir de Panthier (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1880).
34. Notice sur le prolongement des écluses du canal de Bourgogne (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1885).
35. Note sur la durée des éclusages et la marche des bateaux sur le canal de Bourgogne (*Annales des Ponts et Chaussées*, 1885).