

Le développement des recherches hydrauliques en U.R.S.S.

Development of hydraulic research in the U.S.S.R.

PAR I. V. EGUIASAROFF

MEMBRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES D'ARMÉNIE SOVIÉTIQUE

Présentation rapide de certains problèmes abordés, et de certaines des méthodes expérimentales adoptées dans quelques-uns des deux cents laboratoires d'hydraulique de l'U.R.S.S.

Brief description of some problems encountered, with some of the experimental methods used, in several of the 200 hydraulic laboratories in U.S.S.R.

Lors de la première réunion de l'Association Internationale des Recherches Hydrauliques, qui a eu lieu à Bruxelles en 1935, j'ai eu l'honneur de signaler dans un rapport que, durant l'époque soviétique, le nombre de laboratoires d'hydraulique a atteint le chiffre de 32. Les Laboratoires de l'Institut d'Hydrotechnique ont été décrits dans une publication russe de 1933 qui a été largement diffusée à l'étranger.

Auparavant, il n'y avait en Russie que quatre laboratoires mentionnés dans l'édition de 1926 de l'ouvrage bien connu, *Wasserbaulaboratorien Europas*, par J. R. Freeman et C. Matschoss.

En 1957, le nombre des laboratoires en U.R.S.S. a dépassé deux cents.

Ces laboratoires appartiennent aux universités, aux écoles techniques supérieures, aux instituts scientifiques de l'industrie de l'Etat Soviétique (ministères) et aux instituts des Académies des Sciences des Républiques Soviétiques.

Plus de la moitié de ces instituts ont une spécialisation complexe : hydraulique et ouvrages hydrauliques, barrages, béton, sols, irrigation, bonification, centrales hydroélectriques, ressources en eau, aménagement des cours d'eau et problèmes énergétiques. Chacun de ces instituts comprend un assez grand nombre de divers laboratoires et établissements auxiliaires, mais tous possèdent un ou plusieurs laboratoires hydrauliques.

Dans le domaine de l'hydraulique, on peut

distinguer les spécialisations et les méthodes décrites ci-après.

Dans le cadre de cet article, il serait difficile de présenter une description complète des recherches. C'est pourquoi je me bornerai à parler des recherches auxquelles je participai ou que je dirigeai, ainsi que de quelques recherches voisines.

L'Institut d'Hydrotechnique de Leningrad s'est spécialisé dans l'étude des écoulements en aval des ouvrages hydrauliques, de la conjugaison des écoulements en amont et en aval des ouvrages hydrauliques, de l'affouillement du lit aval et des pulsations de la pression et de la vitesse dans ces écoulements (Koumin, Vojnovitch, Preobragenskij).

Comme méthode de recherches, on y emploie des appareils d'une construction nouvelle pour l'enregistrement des pulsations de pression et de vitesse (Kondratiev, Tikhonov, Koumin).

Pour les recherches sur modèles réduits de grandes dimensions, concernant des rivières telles que le Don, la Volga, les rivières de Sibérie et d'Asie Centrale, dont la largeur est immense à l'époque des crues, on se heurte à de grandes difficultés en ce qui concerne les échelles des modèles. Ceci a conduit à l'élaboration d'une nouvelle méthode *aérodynamique* d'étude sur modèle de rivière, avec un courant d'air sous pression (Averkiev, Lapchin).

Le modèle est couvert par une vitre placée à

la hauteur de la surface libre supposée plane (dans le cas où l'on peut faire une telle hypothèse).

Dans ces conditions, on dispose d'un courant d'air turbulent, même pour des échelles de modèle jusqu'à 1/10.000^e, et il est possible d'enregistrer les trajectoires du courant, les vitesses et leur répartition. De tels modèles procurent une orientation générale permettant de passer à des modèles partiels à plus grande échelle, fonctionnant soit avec de l'air sous pression, soit avec de l'eau à surface libre, comme les modèles habituels.

Dans le même Institut, un laboratoire s'est spécialisé dans les recherches glacio-thermiques concernant la formation de la glace et surtout la formation et le transport de spicules en suspension dans l'eau aux grandes vitesses du courant et formant des tapis de glace flottante aux faibles vitesses. La structure de cette glace est granulaire et, en Russie, on la nomme « chouga » (en français, sorbet). Cette « chouga » crée les plus grands ennuis dans l'exploitation des ouvrages hydrauliques, surtout quand les températures oscillent autour de zéro et avant qu'une couverture de glace solide ne se soit formée.

Les recherches se font parallèlement dans la nature et en laboratoire. Le laboratoire possède un canal d'essais avec retour de circulation dont les parois peuvent être réfrigérées. De l'air à une température de — 10 à — 30° C peut être soufflé au-dessus du courant d'eau.

Des études de similitude dynamique ont été faites avec de la glace artificielle et aussi en remplaçant celle-ci dans le modèle par des corps flottants, tels que la paraffine, la naphthaline, etc.

Le laboratoire a fait également des essais thermiques sur le gel des sols. Les problèmes qui s'y rattachent ont une grande importance en Sibérie et partout où les ouvrages hydrauliques se trouvent dans des conditions de gel permanent (Bibikov, Evstifeev).

Après les remarquables travaux théoriques du regretté professeur N. Pavlovskij, membre de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S., les recherches de l'Institut sur les infiltrations de l'eau ont porté surtout sur les infiltrations dans le sol des retenues de grande superficie (Aravin, Numerov).

Notons aussi les recherches sur la traînée des sphères et des cylindres quand les vitesses ne sont pas réparties uniformément par rapport à la verticale et pour diverses distances entre ces corps. Ces recherches ont permis de se faire une idée sur les coefficients de traînée et de poussée dans les cas considérés (Dementiev). C'est ainsi

qu'on a pu constater une diminution de la poussée, laquelle peut même devenir négative lorsqu'on passe des sphères qui se touchent à des sphères légèrement écartées les unes des autres.

Signalons encore les recherches expérimentales et théoriques sur le transport hydraulique des sables et des terres (Dementiev, Knoroz).

C'est au Laboratoire Hydroélectrique de Leningrad (Gončarov, Eguiasaroff), replié partiellement à cette époque (1944) à Erevan (Arménie), que l'on a utilisé ces résultats sur la poussée pour les recherches sur la traînée critique et sur le débit solide (Eguiasaroff).

Le Laboratoire Hydroélectrique de Leningrad s'est spécialisé dans les recherches sur la propagation des ondes négatives et positives dans des écoulements à surface libre et dans les recherches sur les régimes variés dans les systèmes hydroélectriques.

Ainsi, on y a construit un modèle réduit de toute l'installation hydroélectrique de la rivière Niva, depuis la prise d'eau, le canal, la galerie d'aménée à surface libre, jusqu'à la centrale souterraine et à la longue galerie de fuite, également à surface libre. Pour obtenir des dimensions suffisamment grandes de la section transversale du modèle et avoir des pertes par frottement comparables à celles de l'installation en vraie grandeur, il a fallu accepter une distorsion inhabituelle (1938) : échelle des longueurs de 1/150^e, échelle des hauteurs et des largeurs de 1/50^e. Une telle distorsion des échelles était admise pour les parties linéaires de l'installation (canaux et galeries). La prise d'eau et la centrale hydroélectrique n'étaient pas distordues et étaient à l'échelle de 1/50^e. Ainsi, toutes les conditions aux limites de ce modèle pour les vitesses et les débits étaient satisfaites. Grâce à ces dispositions, la longueur du modèle a pu être ramenée de 180 m à 60 m. De plus, on a enregistré des pertes par frottement qui n'étaient pas exagérées. Dans le cas d'un modèle sans distorsion, la rugosité des parois bétonnées du canal et des galeries en vraie grandeur est tellement faible qu'elle est impossible à reproduire en modèle réduit si l'on tient à respecter les exigences des lois de similitude. En sorte que, pour les recherches en régimes variés, on a mis au point un type de modèle complet avec distorsion limitée à la longueur et en combinant dans le même modèle des parties distordues et des parties non distordues (Eguiasaroff).

On a étudié aussi les conditions de prise d'un débit relativement élevé pour des installations hydroélectriques sur rivières de montagne à fort charriage d'alluvions. On a obtenu un nouveau type d'une telle prise d'eau (du système de l'au-

teur), avec galeries en dessous du dessableur pour acheminer les alluvions vers le canal de fuite. La particularité caractéristique de ce type de prise d'eau, comparée à celle de l'Isar moyenne en Bavière, réside en ce que la direction des galeries doit être la même que celle du courant en amont de l'ouvrage et que les galeries elles-mêmes doivent être rectilignes, sans courbures selon le plan horizontal. Le débit de charriage d'une telle disposition est beaucoup plus élevé, surtout dans le cas, difficile, des longues galeries (Eguiasaroff).

Ce type de prise d'eau a été expérimenté sur modèle réduit au Laboratoire, puis réalisé et adapté aux difficiles conditions des installations hydroélectriques de Tchirtchik (Ouzbékistan, Asie centrale). La prise d'eau en question était de basse chute avec un barrage mobile, un énorme dessableur à six sections de 20×120 m chacune et, sous le dessableur, six galeries d'évacuation des alluvions, d'une longueur atteignant 130 m. Un des projets initiaux de cette prise d'eau a été décrit par M. Claudio Marcello dans les comptes rendus des II^{es} Journées de l'Hydraulique, mais, à la différence de la réalisation définitive faite à Tchirtchik, ce projet comportait des galeries ayant à l'entrée une courbure et une vanne. La comparaison avec les galeries sans courbure a fait ressortir l'effet néfaste de la courbure. Une particularité des galeries droites est que l'on peut y placer des vannes de chasse à l'aval. L'absence de la courbure a permis aussi, en 1941, de purger en 30 minutes une galerie d'une installation industrielle entièrement remplie de sédiments.

Le bon fonctionnement de ce type de prise d'eau a été vérifié par les résultats d'exploitation et par des essais spéciaux faits dans cette installation en vraie grandeur. Dans des conditions plus faciles, des prises d'eau de ce type ont été construites en Arménie dans les installations de Goumouch (1953) et d'Arzni (1956) de la cascade de centrales hydroélectriques du lac Sevan, après des essais sur modèle réduit au Laboratoire Hydroélectrique d'Erevan (Eguiasaroff).

Ce dernier laboratoire (qui fait partie de l'Institut des Forces Hydrauliques) s'est spécialisé dans les études sur les régimes variés, avec coup de bélier, dans les installations en charge. Pour satisfaire aux conditions de similitude qui exigent une réduction de dix à vingt fois de la célérité de l'onde de pression dans la conduite forcée du modèle, on a utilisé dans la conduite un tuyau en caoutchouc rempli d'air, comme celui que M. Remenieras avait proposé et expérimenté dans un autre but. On a pu construire ainsi un modèle réduit de tout un grand réseau électrique avec ses éléments hydrauliques, mécaniques et électriques pour des recherches sur la stabilité,

le réglage automatique et l'effet du coup de bélier (Eguiasaroff) — (voir dans ce même numéro de *la Houille Blanche* : « Modèles réduits de grands réseaux avec usines électriques et influence du coup de bélier. »)

Toutes les recherches de ce genre ont exigé des appareils nouveaux pour l'enregistrement des grandeurs hydrauliques, mécaniques et électriques. Ces appareils ont été construits dans les laboratoires mêmes, dans des ateliers assez modestes.

Pour des recherches sur les régimes variés engendrés par les turbines et par le fonctionnement des écluses, sur un modèle du bief de la centrale de Kouibychev sur la Volga (modèle sans distorsion, à l'échelle de $1/150^e$ et ayant les dimensions de 35×100 m), on a été contraint de construire des appareils enregistrant sur film et sur papier photographique des ondes de translation amplifiées de dix fois, parce que, sur ce grand modèle, la hauteur maximum des ondes était de 3 mm (Eguiasaroff, Tikhonov).

Sur ce même modèle de l'usine de Kouibychev, on a utilisé une méthode de recherches sur modèle non affouillable pour l'étude de problèmes relatifs à un lit affouillable dans la nature. Cette méthode avait été élaborée par l'Institut de Recherches du Gidroproekt à Moscou et a été employée dans les laboratoires de cet Institut pour les modèles du Don et de la Volga. La méthode en question est à la fois analytique et expérimentale. On relève d'abord les vitesses et leur répartition sur un modèle non affouillable. Puis, compte tenu de la granulométrie du lit, on calcule analytiquement l'érosion produite par ces vitesses, en utilisant les données empiriques obtenues sur la Volga par des mesures effectuées sur place. Les affouillements du lit ainsi calculés sont reportés sur le modèle, dont on modifie en conséquence les profondeurs aux endroits où cela est nécessaire. On refait alors les essais hydrauliques sur la répartition des vitesses, puis les calculs, et ainsi de suite. Il s'agit donc d'une méthode par approximations successives alternativement analytique et expérimentale (Rosinskij, Kouzmin).

Dans le domaine hydraulique, l'Institut d'Hydrologie de Léninegrad s'est spécialisé sur les problèmes de la formation des vagues dues au vent dans les biefs et les retenues formés par les grands ouvrages hydrauliques sur le Don et la Volga (Andrianov, Karaouchev). Cet Institut a fait des recherches importantes sur l'affouillement par les vagues, ainsi que sur la formation et l'évolution des méandres (Kondratiev, Popoff).

C'est d'abord à l'Institut de Bonification, jus-

qu'en 1931, puis à l'Institut d'Hydrologie et à l'Institut des Voies navigables, que l'on a poursuivi pendant plus de vingt ans des recherches analytiques sur les particules solides en suspension et que l'on a mis au point la « théorie de la diffusion » (Makaveev). A l'Institut de l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. à Moscou, des recherches analytiques ont été faites sur les particules solides en suspension et on y a élaboré une « théorie de la gravitation » (Velikanov). Ces deux théories ont suscité de nombreuses discussions passionnées, mais on ne dispose pas encore d'études expérimentales suffisamment approfondies pour porter un jugement définitif.

L'Institut Hydrotechnique de Kiev s'est consacré à l'étude des problèmes de la navigation, de la répartition des vitesses dans les courants avec circulation transversale et du profil transversal des canaux affouillables (Sukhomel, Razovskij, Pychkin).

L'Institut de l'Académie d'Agriculture de Tachkent (Asie Centrale) s'est spécialisé dans les problèmes d'affouillements locaux à l'aval des ouvrages hydrauliques (Vyzgo) et l'Institut de l'Académie des Sciences du Kazakstan à Alma-Ata s'est spécialisé dans l'étude des crues des torrents, avec débits solides érosifs. Les problè-

mes de torrents à forte pente sont aussi étudiés aux Instituts de l'Académie à Erevan (Eguiasaroff) et à Tbilissi (Ministère de l'Agriculture) (Gagochidze). Les recherches se font dans la nature, au laboratoire et par calculs théoriques.

L'Institut Energétique de Géorgie (Tbilissi) a poursuivi surtout des recherches sur les questions d'économie nationale des forces hydrauliques (Mostkov).

Il va de soi que tous les Instituts précités font des recherches sur modèles réduits pour les multiples ouvrages hydrauliques projetés ou en construction dans l'U.R.S.S. Je ne mentionne pas ces recherches, qui ne présentent pas un intérêt général; je n'ai signalé que quelques questions relatives aux méthodes de recherches.

Cet exposé n'offre évidemment qu'un très bref aperçu. Il faudrait un gros volume pour présenter une analyse approfondie de l'immense travail scientifique accompli dans l'Union Soviétique depuis la première Assemblée de l'A.I.R.H. à Bruxelles.

Le champ de recherches qui est devant nous est si vaste qu'il exige une collaboration aussi complète que possible entre les laboratoires de tous les pays.

NOTRE FRONTISPICE

BETHENCOURT Y MOLINA (1758-1824).

La destinée de cet homme remarquable lui réservait d'être le fondateur de deux corps d'ingénieurs hydrauliciens et de deux écoles des Ponts et Chaussées.

Augustin de Bétancourt, plus connu sous le nom de Bethencourt y Molina, naquit le 1^{er} février 1758 à Puerto de la Cruz, dans l'île de Ténériffe (Canaries).

Elève de l'Ecole militaire de Madrid, après avoir gravi quelques échelons de la hiérarchie militaire, il fut envoyé plusieurs fois à Paris et en Angleterre pour y perfectionner ses connaissances dans l'art de l'ingénieur et y étudier des industries intéressant l'Espagne.

En juillet 1799, il était nommé Inspecteur général des Routes et Canaux; c'est alors qu'il créa le Corps espagnol des Ingénieurs des Routes, Canaux et Ports, et fonda ensuite l'Ecole Spéciale d'Ingénieurs des Routes, Canaux et Ports, où l'Hydraulique représentait une des principales disciplines.

Découragé par l'indifférence de Ferdinand VII à l'égard de ses réalisations, puis inquiet de la domination française sur son pays, il répondit en 1808 à l'appel du tsar Alexandre 1^{er}, qui le nomma successivement chef du génie civil russe, général-major, puis lieutenant-général de l'armée russe. Il organisa le Corps des Ingénieurs Hydrauliciens de Russie et fonda, pour former ces ingénieurs, l'Ecole des Sciences Exactes. Il mourut à Saint-Petersbourg le 26 juillet 1824.

De ses nombreux écrits, nous retiendrons particulièrement son *Mémoire sur la force expansive de la vapeur d'eau* (Paris, 1790), l'*Essai sur la composition des machines* (avec Lanz, Paris, 1808) et son *Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure* (Paris, 1805-1807).

En 1807, il fit présenter par Monge à l'Académie des Sciences un nouveau système d'écluse dont il donna le modèle à l'Ecole des Ponts et Chaussées. En 1809, il fut élu membre correspondant de première classe de l'Institut de France.

BETHENCOURT Y MOLINA (1758-1824).

During his lifetime this remarkable man became the founder of two Societies of Hydraulic Engineers and two Highway Engineering Schools.

Augustin de Bétancourt, better known by the name of Bethencourt y Molina, was born at Puerto de la Cruz, on Tenerife in the Canary Islands, on the 1st of February 1758.

After completing his studies at the Military School in Madrid and subsequently rising in rank in the Army, he was sent to Paris and England on numerous occasions in order to further his engineering knowledge and study industrial activities likely to interest Spain.

He was appointed to the post of Inspector General of Highways and Canals in July 1799, whereupon he founded the Spanish Corps of Highway, Canal and Harbour Engineers, and, shortly afterwards, the Special College of Highway, Canal and Harbour Engineers, where Hydraulics was one of the chief subjects studied.

Discouraged by Ferdinand the Seventh's indifference to his achievements, and worried by French domination of his country, he responded to an appeal by Czar Alexander the First in 1808 and was subsequently first made responsible for all Russian Civil Engineering activities and then successively made Major General and Lieutenant General of the Russian Army. He also organised The Corps of Russian Hydraulic Engineers and founded the School of Exact Sciences for their training. His death occurred in Saint-Petersbourg on the 26th of July 1824.

Among his many writings, his Mémoire sur la force expansive de la vapeur d'eau (Paris, 1790), an Essai sur la composition des machines (with Lanz, Paris, 1808) and his Mémoire sur un nouveau système de navigation intérieure (Paris, 1805-1807) are most noteworthy.

In 1807, Monge presented a new lock system to the Academy of Sciences on his behalf, of which he also gave a model to the School of Highway Engineering. He was elected a First Class Corresponding Member of the Institute of France in 1809.