

Compte rendu de l'assemblée générale de l'Association Internationale de Recherches Hydrauliques (A.I.R.H.) tenue à Dubrovnik, en septembre 1961

General report on the ninth general meeting
of the International Association for Hydraulic Research
at Dubrovnik on the 4th-7th September 1961

PAR G. SAUVAGE DE SAINT-MARC

DIRECTEUR GÉNÉRAL DE LA SO.GR.E.A.H.

Outre des sujets classiques en de tels congrès (effet de turbulence sur des constructions hydrauliques, mécanique des courants d'eau souterrains, etc.), il convient de noter l'apparition d'un sujet nouveau relatif à l'utilisation hydraulique des machines à calculer modernes, point sur lequel ce compte rendu s'étendra principalement. Développement actuel de ces méthodes et leur champ d'application.

In addition to the subjects usually discussed at this type of Congress (e.g. the effect of turbulence on hydraulic constructions, the mechanics of ground water flows, etc.) the use of modern calculating machines for hydraulics problems was also examined. This new subject is the main topic discussed in the general report. The present development of these methods and their field of application.

La 9^e assemblée générale de l'Association Internationale de Recherches Hydrauliques s'est tenue en Yougoslavie du 4 au 7 septembre 1961. Primitivement fixée dans la capitale, elle dut être déplacée au cours du mois d'août à Dubrovnik, par suite de la Conférence Internationale de Belgrade ; ce changement compliqua sans doute le travail des organisateurs, mais, en revanche, permit aux congressistes de goûter le charme de l'ancienne Raguse, qui offrit ainsi

le calme de ses longs remparts médiévaux pour abriter nos travaux, en même temps que les joies de la côte dalmate baignée par l'éblouissante Adriatique, pour nous procurer une détente bienfaisante.

Pour cette assemblée, le bureau de l'A.I.R.H. a lancé certaines innovations : en plus des séances techniques classiques, le programme comporta trois conférences générales et des séminaires.

LES CONFÉRENCES GÉNÉRALES

La première conférence fut celle du professeur à la Faculté technique de Génie civil de Belgrade, le Docteur KNEZEVIC, sur les « Problèmes hydrauliques du Karst ». Ce sujet, parti-

culièrement bien choisi, puisqu'un tiers de la surface de la Yougoslavie est constitué par des terrains karstiques, fournit au conférencier l'occasion de faire le point sur l'état de nos

connaissances théoriques et expérimentales actuelles. Il donna également quelques exemples locaux caractéristiques, illustrés par des photographies : par exemple, sources d'eau douce sur les bords de la mer Adriatique. L'étude de ces écoulements revêt un caractère très important dans la mise en valeur de ces régions karstiques, dont l'aspect désertique ne saurait laisser indifférent tout esprit désireux de développer le sort de l'homme sur terre.

La deuxième conférence examina l'« Ecoulement à trois dimensions à travers la couche limite ». Le professeur SCHLICHTING, directeur de l'Institut pour la Mécanique des Fluides à la Faculté de Braunschweig, en Allemagne rappela les récentes recherches sur ces écoule-

ments, souligna la présence d'écoulement secondaire, et traita quelques cas particuliers : écoulement sur des corps en rotation, écoulement dans les conduites courbes ou dans les diffuseurs, écoulements secondaires apparaissant dans le voisinage d'une pale attachée à une paroi, etc.

Enfin, la troisième conférence fut un magistral exposé du professeur ROUSE, directeur de l'Institut de Recherches Hydrauliques d'Iowa, sur la « Transformation de l'énergie dans les zones de séparation ». La densité de cette savante communication nous fait souhaiter de pouvoir bientôt la lire, afin de la méditer et de l'approfondir.

LES SÉMINAIRES

Un séminaire, au sein de l'A.I.R.H., fonctionne comme suit : sur un sujet donné, généralement assez limité, les spécialistes envoient leurs mémoires ; à partir de ces éléments de base, un rapporteur général présente un mémoire d'ensemble au cours d'une séance, puis amorce et guide une discussion entre les différents participants et enfin propose les grandes lignes directrices d'une synthèse sur le sujet étudié, en faisant d'une part, le point des connaissances acquises, et d'autre part, le programme des recherches encore à faire. Dans le cas présent, la formule n'a pas entièrement été couronnée de succès, par suite du retard à la transmission des communications et donc à leur impression, si bien que les participants n'avaient pu avoir connaissance des exposés de leurs collègues.

Le premier séminaire fut consacré à l'« Hydraulique des petits ouvrages d'irrigation et de drainage », le rapporteur général étant le professeur VLADISALJEVIC, de la Faculté technique de Génie civil de Belgrade. Ce dernier insista sur l'intérêt d'un tel sujet, qui, à l'inverse des grands ouvrages généralement fortement influencés par les conditions locales particulières, peut être d'un enseignement direct pour l'ensemble des techniciens des différents pays de notre planète. Le sujet rassembla diverses considérations (10 mémoires) sur le contrôle des débits et des niveaux d'eau, sur la construction économique et la standardisation des petits ouvrages, sur la dissipation d'énergie et sur l'utilisation de l'excédent d'énergie dans un réseau d'irrigation.

Le deuxième séminaire « Hydrodynamique fondamentale des écoulements à surface libre et

des écoulements non uniformes », offrait un sujet plus fondamental pour l'ensemble des hydrauliciens. Le Professeur McNOWN, doyen de l'Ecole de Génie civil et d'Architecture à l'Université de Kansas, avait été nommé rapporteur général. Trente-huit mémoires furent présentés. Successivement, le séminaire traita :

- des pertes de charge,
- des courbes de remous,
- des changements de régime et des dérivations,
- des propagations d'ondes et des écoulements non stationnaires dans les canaux à surface libre.

Enfin, dans la salle des séminaires, se réunit également le Comité pour l'« Equipement des Machines Hydrauliques et la Cavitation », qui, sous la présidence du professeur James DAILY de Cambridge, fixa le programme du prochain symposium des Machines Hydrauliques de 1962 au Japon. Ce programme est le suivant :

- 1.— Différents aspects de la cavitation, tels que mécanique du début de cavitation, techniques expérimentales d'études, effets tridimensionnels, caractéristiques des profils, etc.
- 2.— Sujets sélectionnés sur les machines hydrauliques.

Il comprend quatre jours de sessions techniques et de visites à Sendai, et une excursion de deux jours.

LES SÉANCES TECHNIQUES

Mais l'essentiel de ce Congrès était constitué par les quatre séances techniques correspondant aux quatre sujets choisis. Avec les séminaires, c'est un ensemble de 180 mémoires qui furent présentés ; aussi nous bornerons-nous à dégager quelques idées générales sur ces différents thèmes, mais nous nous étendrons cependant plus longuement sur le thème III, que nous traiterons donc en dernier lieu.

THÈME I :

Effets de la turbulence sur les constructions hydrauliques (27 rapports). Le problème du ressaut et les questions connexes (dissipation d'énergie à l'aval des ouvrages, affouillements) ont été le plus souvent traités ; mais la turbulence engendrée par les différents ouvrages (vannes, déversoirs de crue, éjecteurs, structures complexes) ainsi que son rôle dans les entraînements d'air et les transports solides ont été particulièrement étudiés.

THÈME II :

Mécanique des courants d'eau souterraine (36 rapports). Les principaux auteurs ont abordé principalement le domaine de validité de la loi de Darcy, les écoulements à potentiel de vitesses les mesures de perméabilité et les régimes transitoires.

THÈME IV :

Modifications de courants naturels causés par des ouvrages (27 rapports). Avec ce thème, nous retrouvons le ressaut et les affouillements entraînés par la présence d'ouvrages tels que piles de pont, seuils, déversoirs. Cependant, d'autres auteurs ont abordé des problèmes de modifications à plus grande échelle : engrèvement et dégrèvement des retenues, courbes de remous, morphologie des lits de rivières.

THÈME III : Problèmes hydrauliques pour machines à calculer.

Pour la première fois dans un Congrès de l'A.I.R.H., un thème entier était consacré à l'utilisation des machines à calculer, et il est intéres-

sant de souligner qu'il rassembla le plus grand nombre de mémoires, soit 42, ou même 43 si l'on ajoute un rapport présenté au cours de la discussion du thème II, mais tout à fait susceptible d'être classé dans le thème IV. Notons également la très forte participation française sur ce sujet, puisque, sur les 43 mémoires présentés, 18 émanent de la France.

Fidèle au contenu même des communications présentées, nous n'indiquerons que les problèmes hydrauliques traités par machines à calculer mentionnés à Dubrovnik. Cependant, quelques réflexions générales préalables fourniront un fil directeur pour une présentation plus commode de l'ensemble des sujets.

Machines à analogie ou machines digitales ?

Sur ce point, la situation est claire : trois mémoires au plus font appel à l'analogie, tous les autres aux machines digitales. La raison fondamentale de cette suprématie est simple : alors que pour chaque nature de problème, une machine à analogie doit être aménagée et parfois avec de grandes complications dans les circuits électriques, la machine digitale peut être utilisée d'une manière générale pour tous les problèmes ; c'est ainsi qu'avec les quatre seules opérations courantes : addition, soustraction, multiplication et division, la machine digitale pourra résoudre pratiquement tous les problèmes hydrauliques susceptibles d'être mis en équation ; une seule limite d'ordre économique à leur utilisation : le coût du calcul.

Comment opère une machine digitale ?

En dehors des formules algébriques, d'allure classique, qui ne posent pas de problèmes pour la machine, on rencontre dans les calculs les opérations mathématiques d'intégration. Si l'intégration peut être résolue par les procédés ordinaires, on est ramené au cas des formules classiques, donc, pas de difficulté. Si l'on est arrêté au seuil de l'intégration, alors la machine permet de franchir ce seuil ; elle calcule l'intégrale en remontant à sa définition même, et fait la somme d'un nombre suffisamment grand de termes. C'est là sa grande force, mais là aussi qu'intervient le coût du calcul par suite du très grand nombre d'opérations à faire.

Premier essai de classification des problèmes traités :

Si nous nous attachons à la nature mathématique des problèmes hydrauliques traités, nous pouvons tenter une première classification. Nous distinguerons :

1° LES CALCULS DE FORMULES CONNUES :

La machine ne sert ici qu'à remplacer le calcul humain, mais elle va plus vite, et par conséquent permet d'effectuer des calculs systématiques qu'autrefois on n'osait pas entreprendre. Par là, elle est une source d'analyse plus poussée de problèmes (calculs statistiques, calcul par la méthode des moindres carrés, analyse harmonique, calculs de débits, etc.).

2° RÉOLUTION DE SYSTÈMES D'ÉQUATIONS (NON DIFFÉRENTIELLES) :

Là encore, elle remplace le calcul humain, mais va non seulement plus vite, mais surtout plus loin; outre des fonctions algébriques, on peut introduire des fonctions expérimentales. Un cas intéressant d'application est celui des réseaux maillés.

3° RÉOLUTION D'ÉQUATIONS DIFFÉRENTIELLES

Ce cas, où il n'y a qu'une seule variable indépendante, se rencontre souvent en hydraulique : par exemple, l'étude des courbes de remous (écoulement graduellement varié) ou encore le problème des systèmes hydroélectriques constitués par réservoir, galerie d'amenée, cheminée d'équilibre, conduite forcée et turbine ou vanne. Dans de tels problèmes, il est possible d'introduire dans les calculs des lois empiriques.

4° RÉOLUTION DES ÉQUATIONS AUX DÉRIVÉES PARTIELLES :

A - Cas de deux variables indépendantes.

On peut alors distinguer :

a) Les deux variables indépendantes sont géométriques, x et y par exemple. La fonction à déterminer est alors fonction du point considéré; c'est le cas d'écoulements permanents faisant intervenir des fonctions harmoniques qui satisfont à l'équation elliptique : $\Delta\phi = 0$ (écoulements à potentiel de vitesse). Une telle équation pourra d'ailleurs être compliquée en ajoutant à $\Delta\phi$ une fonction linéaire des dérivées partielles du 1^{er} ordre.

b) Des deux variables indépendantes, l'une caractérise le lieu, l'autre le temps.

Nous trouvons dans cette catégorie les pro-

blèmes satisfaisant aux équations hyperboliques, tels que coups de béliers d'onde dans une conduite, propagations d'onde dans les canaux.

c) Calcul des variations.

On peut, grâce aux formules d'Euler qui permettent de ramener les calculs de variations à la résolution d'équations aux dérivées partielles, classer ici ces problèmes. Un ou deux exemples ont été exposés à Dubrovnik.

B - Cas de trois variables indépendantes :

Dans de tels problèmes, les calculs deviennent plus complexes et le nombre des opérations élémentaires devient extrêmement grand. Corrélativement, le prix du calcul augmente. Néanmoins des cas concrets ont été présentés à Dubrovnik : l'évolution de la surface piézométrique d'une nappe souterraine et calcul de marées.

5° LE MODÈLE MATHÉMATIQUE :

Dans les cas précédents, on considérait des équations différentielles ou des équations aux dérivées partielles; mais, dans ces équations intervenaient des coefficients qui dépendaient soit de la forme géométrique de la section d'écoulement, soit de la nature des parois de l'écoulement (coefficient de rugosité). Ces coefficients étaient généralement considérés comme constants. Si maintenant nous considérons ces coefficients comme variables suivant une loi donnée en fonction d'une variable indépendante géométrique, la machine digitale pourra effectuer le calcul en tenant compte de ces variations de coefficient. Généralement, pour un fleuve donné (c'est-à-dire dont on connaît la topographie) on posera d'abord à la machine le problème de reconstituer une ligne d'eau correspondant à un débit donné; la machine déterminera par tâtonnement la variation du coefficient de rugosité en chaque section, pour obtenir la ligne d'eau demandée. Ce faisant, elle fait le même travail qu'on réalise sur un modèle physique au cours du réglage des rugosités. Ces coefficients une fois déterminés, on aura ce qu'on appelle un « modèle mathématique » qui pourra répondre aux nouveaux problèmes qu'on lui posera, comme un modèle physique ordinaire. Ainsi apparaît un nouvel outil extrêmement intéressant dont l'hydraulicien pourra se servir avec fruit dans la résolution de certains problèmes.

Deuxième essai de classification des problèmes traités :

Si maintenant nous nous attachons à la nature hydraulique des problèmes traités, nous pouvons envisager une nouvelle classification qui permet-

tra de faire le point de l'intérêt de la machine à calculer dans les différentes branches de l'hydraulique.

1° HYDROLOGIE :

Il est certain qu'en ce domaine l'exploitation des multiples données hydrologiques sera grandement facilitée par le calcul électronique, d'autant plus que les calculs sont simples mais très nombreux.

La machine allégera le travail de l'hydrologue :

- Dans le dépouillement des mesures de vitesses (jaugeages) et la détermination rapide des débits;
- Dans l'interprétation des résultats (théorie de l'hydrogramme unitaire pour la prévision des débits de crue);
- Dans les différents calculs de statistique (opérations de classement, calcul des coefficients de droites de régression ou de corrélation, détermination des erreurs d'échantillonnage).

Mais, en outre, la machine pourra également être utilisée dans la recherche des lois impossibles à découvrir sans son concours : par exemple, la recherche de la fonction liant le coefficient de ruissellement de crues à différents facteurs comme intensité moyenne et durée de la pluie, état d'humidité du terrain, la saison, etc. De telles recherches ne peuvent s'entreprendre qu'à partir d'un grand nombre d'observations et donc qu'avec l'aide d'un ordinateur électronique.

2° HYDRAULIQUE THÉORIQUE : ÉCOULEMENT A POTENTIEL DE VITESSES.

Pour les écoulements plans, beaucoup de procédés analytiques ou graphiques ont été proposés; cependant certains écoulements, particulièrement ceux à surface libre, donnent encore beaucoup de fil à retordre à l'hydraulicien. Les machines lui apportent une aide appréciable. Mais c'est dans les écoulements irrotationnels d'un fluide incompressible avec symétrie de révolution que le calculateur permet de vaincre les difficultés, grâce au procédé de la relaxation. A Dubrovnik, un programme a été exposé, permettant d'introduire des surfaces libres d'une façon automatique : un exemple : celui de l'écoulement dans un injecteur de turbine Pelton.

3° HYDRAULIQUE DES CONDUITES :

Le calcul électronique permettra d'obtenir plus rapidement les résultats :

- Pour le calcul des pertes de charges;

— Pour le calcul des réseaux maillés (résolution des systèmes d'équations);

— pour l'optimisation des réseaux ramifiés (calcul de réseaux d'aspersion);

— pour le calcul des cheminées d'équilibres.

En outre, il remplacera les épures Bergeron dans les cas compliqués de coups de bélier d'onde dans des réseaux ramifiés.

Enfin, il facilitera grandement l'examen des problèmes de régulation, par exemple dans le cas d'aménagements hydroélectriques.

4° HYDRAULIQUE DES CANAUX :

La machine pourra être utilisée pour l'établissement des lignes de remous, mais ce problème a été suffisamment traité pour qu'il existe des tables et des abaques rendant moins nécessaire son utilisation.

En revanche, elle restera indispensable pour l'étude des propagations d'ondes dans les canaux, présentant par exemple des bifurcations ou des variations de section.

5° HYDRAULIQUE DES RIVIÈRES ET DES ESTUAIRES :

Là encore, l'intérêt du calcul électronique apparaît surtout pour l'étude des propagations d'ondes soit intumescences, soit ondes à front raide (mascaret). Dans ce cas, il sera particulièrement avantageux de substituer au modèle physique, généralement très grand et donc très coûteux, un modèle mathématique moins onéreux.

Il convient cependant de noter qu'un tel modèle ne saurait tenir compte des modifications des fonds du lit de la rivière, faute de connaître les lois mathématiques de cette évolution; si donc ce lit est susceptible d'évolution, ou devra, ou bien recourir à un modèle physique d'ensemble, ou bien déterminer à partir d'un modèle physique partiel une loi empirique des modifications des fonds, afin de pouvoir introduire cette loi dans le modèle mathématique.

A Dubrovnik, deux communications ont traité de l'entraînement des matériaux, mais la machine intervenait soit pour effectuer un calcul relatif à la suspension ou à la décantation des matériaux en écoulement turbulent, soit pour effectuer les calculs des corrélations linéaires empiriques entre les forces tractrices critiques et les propriétés caractéristiques des sols, afin d'améliorer les critères employés pour la détermination des canaux en terre revêtus ou non revêtus.

6° HYDRAULIQUE MARITIME :

Deux cas ont particulièrement attiré notre attention : celui de la diffraction de la houle et celui du calcul des dénivellations et des courants de marée.

Une méthode de calcul a été proposée pour l'étude de la diffraction de la houle sur des plans d'eau de profondeur constante, en ramenant la résolution d'équations aux dérivées partielles régissant le mouvement de la houle à une résolution d'équation intégrale. Cette méthode peut s'appliquer à des bassins de forme quelconque limités par des parois réfléchissantes.

En ce qui concerne les marées, deux communications d'origine française ont été présentées et ont trait toutes deux à l'étude de la Manche, en relation avec le projet d'usine des îles Chausey. Ce sont là des tentatives de modèle mathématique pour l'étude des marées et la comparaison entre modèle physique et modèle mathématique est et sera riche d'enseignements.

7° HYDRAULIQUE SOUTERRAINE :

Le calcul électronique intervient pour faciliter les calculs longs et fastidieux, par exemple dans les problèmes à deux dimensions ($\Delta\varphi = 0$), soit lorsqu'il faut avoir recours aux fonctions elliptiques, soit quand il y a lieu d'appliquer les méthodes de relaxation, particulièrement dans le cas des surfaces libres en milieux poreux. Souvent également, l'intégration numérique se révèle très avantageuse dans l'étude de la propagation des ondes en milieux poreux. Enfin, dans des nappes étendues, très hétérogènes, la machine digitale permet d'interpréter les résultats d'ob-

servation pour reconstituer les données manquantes et réaliser un véritable modèle qui pourra prévoir par exemple les lois débits-rabattements.

En conclusion, ce Congrès a constaté l'intérêt puissant que peuvent constituer ces machines digitales pour l'hydraulicien. Dans quelques cas, certes, l'ordinateur électronique est resté limité au rôle d'exécutant de calculs pour ainsi dire prédigérés, mais, même là, en affranchissant les ingénieurs d'un travail ingrat, il constitue un élément de progrès sensible sur le plan économique et humain. En revanche, très souvent, par la possibilité de résoudre des problèmes résistant aux méthodes classiques, il a permis de mesurer l'apport révolutionnaire dont il était capable. Et l'on peut affirmer que, désormais, à côté du magnifique outil que constitue le modèle réduit physique couramment utilisé dans la recherche de l'hydraulique, existe un nouveau levier d'action, encore dans son balbutiement, mais riche de promesses : le modèle mathématique. Le développement de ce dernier suivra d'ailleurs la progression humaine de nos connaissances dans les lois physiques de l'hydraulique, lois exprimables en formules mathématiques.

Avant de terminer, indiquons qu'au cours de sa séance administrative, l'Assemblée générale a élu son Conseil : M. IPPEN est réélu président, M. ALLEN (Grande-Bretagne) et M. L. ESCANDE (France) sont élus vice-présidents. Nous présentons ici nos plus vives félicitations à M. L. ESCANDE pour cette nomination; c'est un honneur qui nous touche particulièrement, nous Français.

Enfin, signalons que le prochain Congrès de l'A.I.R.H. aura lieu en 1963 en Grande-Bretagne.

DISCUSSION

Président : M. DUFFAUT

M. le Président remercie M. SAUVAGE de SAINT-MARC. M. NOUGARO ajoute la raison suivante à celle qu'a donnée M. SAUVAGE de SAINT-MARC et qui concerne le manque de communications relatives au calcul analogique :

Il se tenait, dans le même pays, et aux mêmes dates, un congrès de l'Association Internationale du Calcul Analogique.

M. le Président remercie M. NOUGARO pour son intervention et pense qu'il peut associer l'auditoire aux félicitations qu'a adressées M. SAUVAGE de SAINT-MARC à M. ESCANDE pour sa nomination à la vice-présidence de l'Assemblée générale de l'A.I.R.H.

M. le Président demande à M. NOUGARO de transmettre ces félicitations à M. ESCANDE.