

Le VI^e Congrès d'Hydraulique et de Constructions hydrauliques

Padoue, Mai 1959

The Sixth Congress on Hydraulics and Hydraulic Structures

Padova, May 1959

COMPTE RENDU

PAR J. CHABERT

INGÉNIEUR AU LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE

Deux thèmes principaux faisaient l'objet des « Journées Italiennes de l'Hydraulique », qui se sont tenues à Padoue du 25 au 28 mai 1959.

— THÈME A : *Hydraulique fluviale (stabilité d'un chenal, correction et régularisation des rivières, mouvements d'alluvions, hydrologie).*

45 mémoires furent présentés sur ce thème.

— THÈME B : *Ouvrages de décharge des réservoirs et des lacs artificiels.*

15 mémoires furent présentés, dont 4 traitent plus spécialement des évacuateurs en puits.

Présentation synthétique de quelques communications et des visites effectuées à la « Station d'essais pour grands modèles » à Voltabarozzo et au « Centre d'étude sur modèle » de Nove (près de Vittorio Veneto).

The Congress, which was held in Padova from May 25th to May 28th 1959 had two main themes:

a) *River hydraulics (channel stability, river training and regularisation bedload movement, hydrology).*

45 papers were submitted covering this theme.

b) *Spilling structures for reservoirs and artificial lakes.*

15 papers were presented, of which 4 were mainly concerned with shaft spillways.

The author gives a composite account of some of the papers and describes visits to the Voltabarozzo Large Models Laboratory and the Model Research Centre at Nove, near Vittorio Veneto.

Le VI^e Congrès Italien d'Hydraulique et de Constructions Hydrauliques s'est tenu à Padoue du 25 au 28 mai 1959.

Les communications qui y furent présentées se partageaient, très inégalement d'ailleurs, en deux sujets :

— « Hydraulique fluviale », dont le rapporteur général était M. FROSINI,

— « Ouvrages d'évacuation des réservoirs et lacs artificiels », dont le rapporteur général était M. SEMENZA.

Les séances du Congrès furent complétées par plusieurs visites techniques : centre d'études expérimentales pour grands modèles de Voltabarozzo (près de Padoue), centre d'études sur modèle de Nove (près de Vittorio Veneto, au pied

de l'aménagement hydroélectrique du Piave), chantier du barrage du Vaiont (affluent du Piave); il sera donné un bref aperçu des études effectuées dans ces laboratoires.

Il n'est évidemment pas possible de faire ici

l'analyse complète des quelque 60 communications présentées; elles seront groupées, principalement pour le premier sujet, par domaine, et un aperçu synthétique en sera simplement donné (*).

I. — HYDRAULIQUE FLUVIALE

Les quarante-cinq communications relatives à l'hydraulique fluviale se rapportent aussi bien à la recherche théorique, à la recherche expérimentale (essais sur modèle ou mesures sur ouvrages réels) qu'à des réalisations de génie civil.

A) Hydrologie :

Huit communications concernent l'hydrologie : celles-ci traitent :

- Soit de problèmes théoriques : communication de TONINI sur la généralisation de l'équation de continuité d'un fluide en hydrologie;
- Soit plus particulièrement des rivières italiennes :
 - communication de PRICOZZI (courbes des débits mensuels probables);
 - communication de MONGIARDINI (évaluation des crues maxima),

qui donnent, pour plus de 300 tronçons de rivières italiennes, un très grand nombre de données numériques : le bassin versant S , la perméabilité, le coefficient c de ruissellement, la hauteur de pluie h par jour, le débit spécifique de crue q , et le rapport $q/c.h$. Des graphiques donnent la variation de $q/c.h$ en fonction de S et la valeur du coefficient K_r défini par $q = K_r ch (S/100)^{2/3}$. K_r varie de 0,50 à 3,30 suivant les rivières considérées.

- Soit de bassins versants hors d'Europe et de leur utilisation éventuelle (Iran, Nil soudanais).

Six autres communications se rattachent indirectement à l'hydrologie; elles traitent plus particulièrement de la régularisation des réservoirs. INDRI définit des critères pour la meilleure utilisation des réservoirs interconnectés, avec, comme exemple, l'aménagement du Piave dont on reparlera à l'occasion des travaux du Laboratoire de Nove; MARZOLLO se réfère à de nombreux complexes d'aménagement dans le monde; d'autres communications donnent des exemples concrets italiens de contrôle de crues et de régu-

larisation à buts multiples (irrigation, hydroélectricité) (RUGGIERO et SASSOLI, BUIZZA, PULSELLI, ROSSI, RODIGHIERO).

B) Constructions hydrauliques :

Parmi les communications se rapportant à des réalisations d'ouvrages (siphons, vannes, système d'asservissement, écluses), nous citerons plus particulièrement celle de NOSEDA sur la recherche théorique et expérimentale du remplissage d'une écluse et celle de LESI sur l'étude des deux vannes de crues ($2\,400\text{ m}^3/\text{s}$) de l'usine de Levane : vannes en deux corps de 12 m de largeur et de 14,50 m de hauteur, la charge maxima sur la partie déversante étant de 3 m ($300\text{ m}^3/\text{s}$ par vanne); des mesures sur modèle ont permis de déterminer la répartition des pressions sur le seuil déversant et d'évaluer directement l'effort vertical en fonction de la charge. Ces mesures sont en bon accord avec les mesures réelles.

C) Etude des lits et de la correction des rivières :

Le plus grand nombre de communications traite des problèmes se rattachant à l'étude du lit des rivières et de leur correction : études sur le charriage, d'intérêt général ou se rapportant à un problème particulier, résultant d'essais effectués en laboratoire ou de mesures faites dans la nature (érosions de bassin versant et des lits), description d'ouvrages de correction contre les crues ou destinés à faciliter la navigation.

Parmi les études générales de laboratoire sur le débit solide, on peut citer particulièrement deux communications : celle de NAGY-KARADI-KALMAR et celle de BOGARDI.

a) La première peut servir de mise au point sur les recherches effectuées depuis Schields sur les conditions de début d'entraînement. Les auteurs rappellent les caractéristiques du transport

(*) Pour obtenir plus de détails sur telle communication, il est possible en effet de se reporter à la revue *Energia Elettrica*, qui en a publié un certain nombre, ou d'en demander les textes à l'Université de Padoue.

des sédiments, de la hauteur de saltation définie par Gontcharov et du rôle de la sous-couche laminaire dans le phénomène. Le désaccord des différents chercheurs provient de ce que certains, comme White, négligent entièrement la poussée hydrodynamique qui apparaît progressivement quand l'influence de la sous-couche laminaire diminue; d'autres comme Velikanov considèrent son rôle comme primordial.

Les auteurs définissent tout d'abord une relation entre la vitesse moyenne créant le mouvement et la rugosité relative, sous l'une des deux formes suivantes :

$$\text{si } \frac{h}{d} > 60, \frac{u_0}{\sqrt{gd}} = 1,4 L_n \frac{h}{7d}$$

$$\text{si } 10 < \frac{h}{d} < 60, \frac{u_0}{\sqrt{gd}} = 1,4 \left(1 + L_n \sqrt{\frac{h}{7d}} \right)$$

les coefficients numériques étant déterminés par les expériences de Velikanov et Gilbert.

Les auteurs ont fait un grand nombre d'expériences sur des matériaux de diamètre compris entre 0 et 10 mm, dans le but de déterminer la relation entre la sous-couche laminaire et le début de mouvement. Les résultats peuvent se résumer en deux groupes de relations.

RELATIONS ENTRE LES DIAMÈTRES ET LA VITESSE CRITIQUE AU FOND :

$$\text{Si } d < 1 \text{ mm } u_{f0} = 20 d^{0,10} \text{ (en cm/s et } d \text{ en mm)}$$

$$d > 1 \text{ mm } u_{f0} = 20 d^{0,43}$$

u_{f0} est la vitesse critique au fond, c'est-à-dire la vitesse obtenue en prolongeant la courbe de répartition verticale des vitesses jusqu'au niveau du sommet des particules, c'est donc plus une vitesse caractéristique que la vitesse agissant au niveau de la particule; d'après les observations, cette vitesse est indépendante de la profondeur d'eau.

Pour $d > 1$ mm, l'accord entre les différents auteurs est bon; par contre, pour $d < 1$ mm, bien que le diamètre intervienne peu, il apparaît toutefois dans l'équation, ce qui est en contradiction avec les résultats de Velikanov, pour lequel la vitesse critique est alors indépendante du diamètre.

RELATIONS ENTRE :

$$\frac{\tau_k}{(\gamma_s - \gamma) d} = \varphi \text{ et } \frac{d}{\delta} = 0$$

δ épaisseur de la couche laminaire;

- Si $d/\delta < 1$, on obtient une ligne droite en coordonnées logarithmiques $\varphi = (1/67)\theta^{-1/2}$, les forces sont transmises à la particule à l'intérieur de la sous-couche laminaire.

— Pour $1 < d/\delta < 100$, les forces agissant sur la particule dépendent encore de la sous-couche, c'est une zone de transition et φ varie de 0,0150 à 0,055 lorsque θ varie de 1,5 à 100.

— Si $d/\delta > 100$, alors φ est constant et égal à 0,055.

b) La deuxième communication propose une méthode de calcul des échelles des modèles à fonds mobiles (en particulier pour les lits formés d'éléments fins) à partir des différents régimes de formation du fond des lits des rivières.

BOGARDI s'appuie sur les récents travaux faits aux Etats-Unis par Liu (*) et Albertson (**), qui définissent dans le plan :

$$X = \text{Re}_{*d} = u_* d / \nu, \quad Y = u_* / w$$

(où $u_* = \sqrt{ghJ}$ et w la vitesse de chute du grain de diamètre d), les conditions de début de mouvement et les domaines de formation de rides, de formation de dunes, du régime de transition et de formation des antidunes; l'auteur reprend ces diagrammes en fonction de deux autres paramètres : $b = d/hJ = gd/u_*^2 = 1/\text{Fr}_*$ et d (il pose $\text{Fr}_* = u_*^2/gd$ par analogie avec le nombre de Froude). Figure n° 1.

Les limites, assez mal définies d'ailleurs, séparant les différents aspects que peut prendre un lit, sont alors schématisées en coordonnées logarithmiques par des droites $b = 1/\text{Fr}_* = \beta d^{0,882}$ (cf. figure), la valeur de β caractérisant l'aspect du lit.

Pour obtenir sur le modèle le même régime que dans la nature, il faut conserver le paramètre β , à condition toutefois de tenir compte de la différence des poids spécifiques des matériaux et de la température de l'eau (qui joue sur ν) entre le modèle et le prototype. La correction est donnée par :

$$\beta_{t,\gamma} = \beta_{20^\circ, 2.65} \frac{\nu_{20^\circ}^2}{\nu^2 t} \frac{\gamma_s - \gamma}{1,65 \gamma}$$

L'auteur donne les résultats de l'application de cette méthode à un modèle destiné à l'étude de la correction d'un tronçon de la Tisza. La pente de la ligne d'eau dans le prototype est de l'ordre de 5 cm par km, et le diamètre moyen 1 mm; les échelles du modèle sont le 1/160° en plan et le 1/40° en hauteur; le matériau mobile a un diamètre de 0,18 mm et sa densité est de

(*) H. K. LIU : Mechanics of sediments-ripple formation. "Proceedings of A.S.C.E.", Hydraulics Division, vol. 83, n. Hy 2, avril 1957.

(**) M. L. ALBERTSON, D. B. SIMONS, E. V. RICHARDSON : Discussion of "Mechanics of sediment-ripple formation", par H. K. LIU. "Proceeding of A.S.C.E.", Hydraulics Division, vol. 84, n. Hy 1, février 1958.

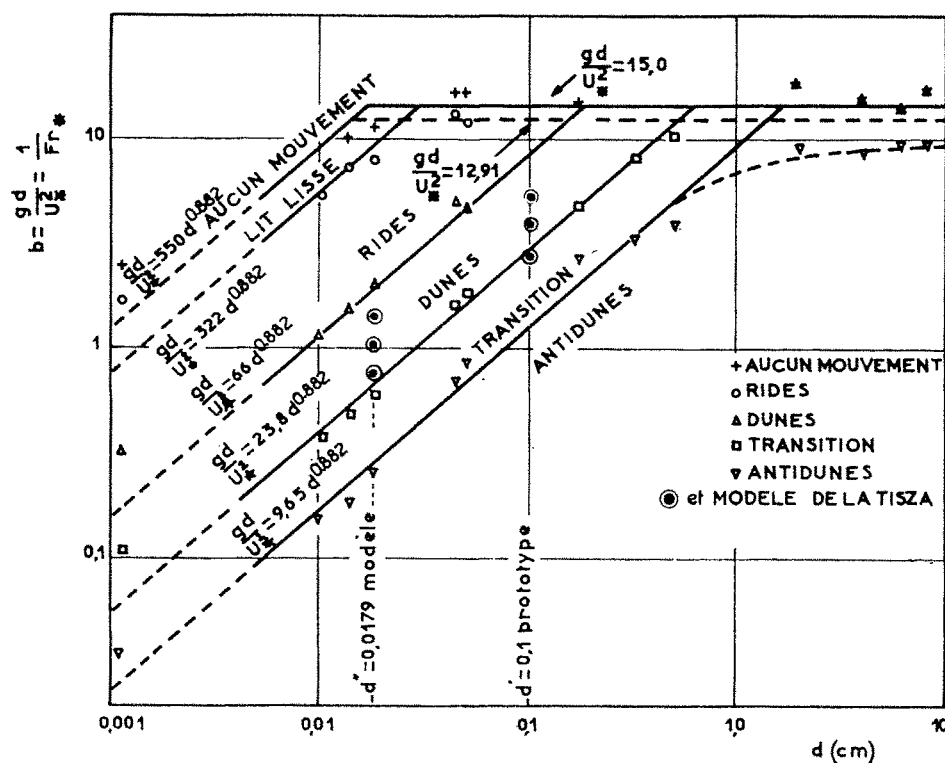


Fig. 1

1,20. Les points représentatifs du prototype et du modèle pour trois valeurs du rayon hydraulique sont reproduits sur la figure 1; ils correspondent à des valeurs de β sensiblement égales qui restent dans le domaine des dunes. Il serait intéressant de pouvoir comparer les dimensions des dunes observées dans la nature et celles obtenues sur le modèle.

c) Parmi les études et mesure *in situ* sur le débit solide, GIANDOTTI donne la valeur du débit solide total d'un certain nombre de rivières italiennes, et rapporte cette valeur au bassin versant. La moyenne annuelle s'établit à 413 t/km² les extrêmes étant de 2 360 t/km² pour Idice (bassin versant de 397 km²) et de 163 t/km² pour l'Adige avec 6 537 km²; le Pô a un transport spécifique de 240 t/km² pour un bassin de 70 000 km².

RODIGHERO étudie la variation du diamètre moyen des alluvions du lit, le long du cours de l'Adige: le diamètre diminue (non régulièrement) de 35 cm à l'amont à 1 mm à l'aval sur un parcours de 300 km; la pente varie de

5,6 m à 0,18 m au km. L'auteur partage le fleuve en trois tronçons auxquels il fait correspondre une relation de la forme $z/z_0 = (d/d_0)^m$ (z cote de la section considérée) et il compare de plus le diamètre aux forces tractrices de début d'entraînement pour ces trois tronçons. Il conclut que la diminution du diamètre moyen des alluvions n'est que faiblement due à leur usure, car il dépend principalement de la ségrégation des alluvions d'origine.

ZANORELLO rassemble de nombreuses données sur les variations du fond de rivières pendant les crues; ROSSI LEIDI donne les résultats des sondages effectués dans la retenue de Bareis pour déterminer le volume des alluvions qui s'y déposent.

Concernant plus spécialement la correction des cours d'eau, on peut citer les communications de VIPARELLI et MAIONE sur les aménagements terminaux de certains torrents de Calabre, de BIGGIERO sur l'aménagement de l'embouchure du torrent Sarone et concernant l'amélioration des conditions de la navigabilité, celle de CHABERT sur un tronçon du Niger; tous ces aménagements ont fait l'objet d'études préliminaires sur modèle.

II. — OUVRAGES DE DÉCHARGE

Parmi les communications sur les ouvrages de décharge, PASA donne une nomenclature complète des caractéristiques des ouvrages d'évacuation de 150 réservoirs hydroélectriques italiens. Quatre communications traitent des évacuateurs en puits : celle de FAURE et PUGNET donne les caractéristiques d'un dispositif antivortex, mis au point pour un cas particulier, et formé d'un voile vertical parallèle à la génératrice du puits. MARCHI et RUBATTA ont effectué des essais sur un dispositif antivortex composé de deux voiles en croix à l'intérieur du puits. INDRI résume les résultats d'études sur modèle d'un grand nombre

d'évacuateurs en puits pour différents barrages; en particulier, il compare différentes formes du raccordement entre le pied du puits et la conduite d'évacuation et donne les courbes hauteur-débit et les répartitions des pressions pour des profils variés de calice; des ailettes disposées radialement autour de l'entrée forment le dispositif antivortex. LAZZARI, à partir de nombreuses expériences effectuées sur quatre modèles avec différentes valeurs de la charge fondamentale et du rayon du seuil d'entrée, établit des relations générales qui permettent de déterminer pratiquement les dimensions d'un évacuateur de ce type.

III. — VISITE A DIFFÉRENTS LABORATOIRES

Station d'essais pour grands modèles de Voltabarozzo :

La nécessité d'étudier les projets de construction de grands ouvrages de retenue ou de dérivation, d'aménagement des cours d'eau contre les crues ou en vue de leur navigabilité, sur des modèles qui soient sans distorsion et à échelle suffisamment grande pour obtenir le maximum de fidélité et de précision, imposait la création d'un centre d'essais disposant d'une surface et de débits importants.

La station d'essais de Voltabarozzo créée en 1955, comme annexe de l'Institut d'Hydraulique et de Constructions Hydrauliques de l'Université de Padoue, dispose actuellement d'une superficie de 4 hectares.

La station est située à proximité d'un barrage destiné à un canal de navigation, dont la retenue dépasse de 2,50 m le niveau de la station. L'alimentation se fait au moyen de deux siphons qui permettent actuellement une alimentation de 4 m³/s. Les modèles restituent dans un bassin naturel à niveau constant, puis par gravité à l'aval du barrage.

Le premier modèle qui y fut implanté était destiné à la dérivation Adige-Lac de Garde; le but de cette dérivation est de détourner une partie du débit de crue de l'Adige dans le lac de Garde au moyen d'une galerie de plus de 10 km de longueur et de 7,80 m de diamètre. Le modèle, à l'échelle géométrique du 1/25^e, reproduit un tronçon de 2,8 km de l'Adige (diamètre des alluvions naturelles de l'ordre de 0,15 m, pente

supérieure au mètre par kilomètre), une longueur de 1,3 km de galerie (dont une partie reproduite en plexiglas) et la restitution dans le lac. Le but de l'étude était de déterminer la forme d'entrée de la prise, l'écoulement dans la galerie (aération), la restitution dans le lac, et le mouvement des alluvions de fond (conditions d'équilibre du lit) pendant le fonctionnement de la dérivation.

Parmi les autres modèles en activité lors de la visite, on peut citer :

— L'étude de l'aménagement hydroélectrique de Zevio sur l'Adige (échelle géométrique du 1/25^e).

Le modèle comprend : le barrage, les ouvrages de prise avec le dessableur, une partie du canal d'amenée, l'usine, un tronçon du canal de fuite et la restitution dans l'Adige.

Le lit de l'Adige est reproduit à fond mobile sur une longueur de 4 km dans la zone du barrage, et de 1,8 km à la restitution. Le fonctionnement du dessableur a été étudié au moyen de matériau léger : bakélite, pierre ponce.

— L'étude de l'aménagement de Isola Serafini sur le Pô.

Le modèle reproduit au 1/30^e, 2,8 km du Pô, le barrage-réservoir (11 passes de 30 m avec vannes levantes et clapets), l'usine accolée au barrage et l'écluse. Le débit turbiné est de 1 000 m³/s, le débit maximum du Pô 9 000 m³/s.

Cette station doit entreprendre la construction d'un modèle de tout le système hydraulique du delta du Pô destiné à étudier les effets des mo-

difications envisagées sur les différents bras; il devra reproduire une longueur de plus de 40 km. L'échelle en plan étant de l'ordre du 1/200°, ce modèle couvrira une superficie d'environ 35 000 m²; il sera distordu d'environ cinq fois.

Trois modèles partiels de certains bras sont, de plus, prévus. Leur échelle en plan sera de l'ordre du 1/50° et sans distorsion.

Centre d'étude sur modèle de Nove :

Les problèmes des mouvements non permanents résultant du fonctionnement des groupes et des vannes de sécurité des aménagements hydroélectriques du Haut Bassin du Piave (de Pieve di Cadore à Soverzene) demandaient un examen sur un modèle reproduisant tout le système des réservoirs, conduites et cheminées d'équilibre

(fig. 2). Le modèle devait être à grande échelle et présenter un caractère presque permanent; il a été installé dans l'ancienne centrale de Nove. Il était d'autre part souhaitable d'y aménager une station de recherches hydrauliques destinée à la Société Adriatique d'Electricité.

Ce centre est exploité depuis 1953 pour le compte de la S.A.D.E. par les soins de l'Université de Padoue. Quelques études importantes ont été présentées lors de sa visite.

a) MODÈLE POUR L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES D'OSCILLATION DANS L'AMÉNAGEMENT PIAVE-BOITE-VAIONT (fig. 2).

Ce modèle a été construit en deux étapes :

— Dans la première, de Pieve di Cadore à Val Gallina et les prises secondaires de Pontesei (sur la Mae) et de la vallée de la Boite,

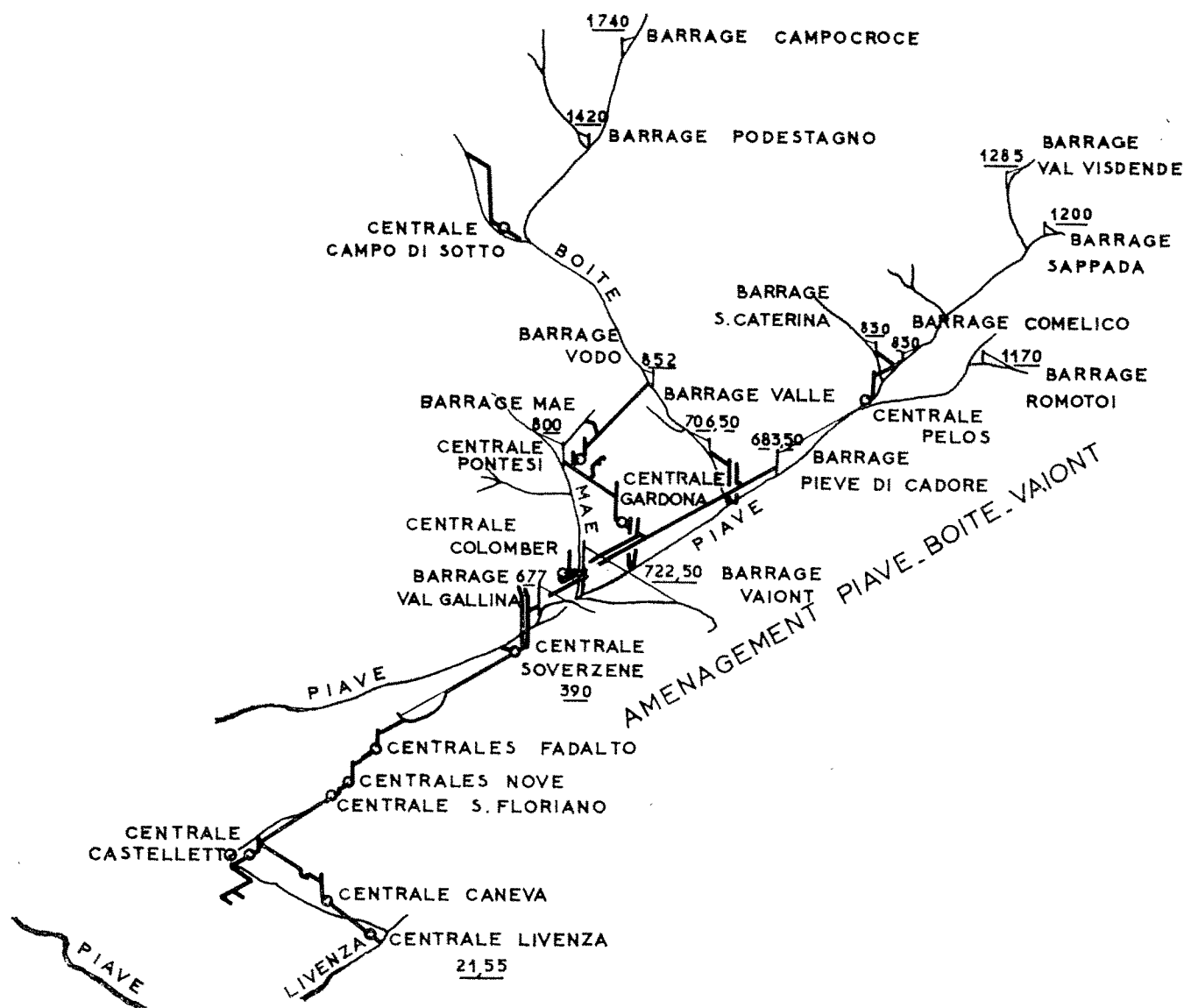


FIG. 2

— En deuxième étape, le barrage de Vaiont et de Vodo.

L'échelle du diamètre des conduites est de $1/30^\circ$ et, pour tenir compte du rapport des coefficients de frottement, l'échelle du $1/83^\circ$ a été choisie pour les longueurs des conduites et les charges (échelles des débits $1/8\ 000^\circ$ et des temps $1/5^\circ$). Pour reproduire les phénomènes d'onde au remplissage et à la vidange, les chambres d'alimentation et d'expansion ont été distordues : longueur $1/83^\circ$ et largeur $1/10,8$. Les groupes ont été reproduits par des valves dissipant la même énergie.

Ce modèle a servi principalement à vérifier les dimensions des cheminées d'équilibre de la centrale de Gardona. Les oscillations déterminées sur le modèle dans les deux cheminées situées de part et d'autre du Piave sont en bonne concordance avec celles mesurées sur le prototype. Les recherches actuelles portent sur la détermination des dimensions de la cheminée de la centrale de Colomber.

b) FONCTIONNEMENT DES RÉSERVOIRS (PIAVE-BOITE-MAE-VAIONT).

Le but de ce modèle est de déterminer les meilleures opérations hydrauliques de régularisation des différents réservoirs.

Le modèle représente le réservoir de Pieve di Cadore (68.10^6 m^3) et Vaiont (169.10^6 m^3) et le réservoir hebdomadaire de Val Gallina; les autres réservoirs ne sont pas reproduits, mais le débit de régularisation est transféré dans la galerie principale. Les échelles géométriques du modèle (hauteur et surface horizontale) ont été choisies

arbitrairement et indépendamment. La première est de $1/40^\circ$ et la deuxième de $1/160\ 000^\circ$. Deux échelles des temps ont été choisies arbitrairement :

- régularisation journalière $1/120^\circ$ (débit $1/53\ 333$),
- annuelle $1/480^\circ$ (débit $1/13\ 333$).

La loi de frottement a été reproduite pour les conduites dont la longueur n'est pas à l'échelle. Il y a deux séries de conduites qui correspondent aux deux échelles des temps. Les retenues sont schématisées; seule est reproduite la loi hauteur-surface.

Cette étude a permis, en particulier, de déterminer, dans le cadre de la régularisation annuelle, la cote optimum de la retenue du Vaiont, et la meilleure façon de remplir les réservoirs de Pieve et du Vaiont, compte tenu de la production de la centrale de Soverzene.

c) MODÈLE POUR L'ÉTUDE DES VANNES DE VIDANGE DE FONDS DES RÉSERVOIRS.

La station dispose d'une charge importante (90 à 55 m, ce qui correspond à une vitesse de 43 m/s) pour étudier à grande échelle les organes de vidange des fonds.

Une étude sur modèle au $1/10^\circ$ a été effectuée pour deux vidanges de fond de la retenue du Vaiont (208 et 143 m de charge).

Les recherches ont porté sur la forme du couteau des vannes, de leur rainure, sur l'aération dans le divergent à l'aval des vannes et sur la forme des jets.

IV. — CHANTIER DU BARRAGE DU VAIONT

Le barrage du Vaiont (affluent du Piave), qui est en cours de construction, sera le plus grand réservoir de l'aménagement du Piave et de ses

affluents (160.10^6 m^3). Ce sera une voûte de 265,50 m de haut et de 190,50 m de développement en crête.

DISCUSSION

Président : M. CHAPOUTHIER

M. le Président remercie M. CHABERT et souligne les deux centres d'intérêt principaux de la communication : la question des transports solides et, notamment, du début d'entraînement des matériaux par charriage; l'aménagement d'un ensemble hydroélectrique avec études sur modèle.

Sur la question des relations entre le début d'entraînement des grains et la couche limite, M. le Président demande à M. CHABERT dans quelle mesure ce qui a été dit à Padoue complète ou corrige les études classiques antérieures, de M. MEYER-PETER notamment.

M. CHABERT répond en indiquant que la communica-

tion présentée à ce sujet n'a pas apporté d'éléments essentiellement neufs, mais qu'elle peut être considérée comme une intéressante mise au point des connaissances acquises; elle fait état, en outre, d'essais complémentaires, notamment dans le domaine des vitesses d'entraînement des grains dont le diamètre est de l'ordre de l'épaisseur de la sous-couche laminaire.

M. CHABERT ajoute que, lors des visites de laboratoires italiens, il a particulièrement noté, d'une part pour les études fluviales, l'utilisation de modèles à très grande échelle pour éviter la distorsion et obtenir la représen-

tation des fonds mobiles en similitude géométrique, d'autre part, le modèle reproduisant l'ensemble complexe des réservoirs, usines, conduites et cheminées de l'aménagement du Piave et de ses affluents.

M. le Président souligne l'ingéniosité de ces schématisations d'ensembles complexes, dont le document remis par M. TONINI sur le Centre de Nové donne la description et les photographies: il y aura peut-être intérêt, le moment venu, à comparer les différentes formules utilisées dans les divers pays.

ERRATUM

Dans notre numéro spécial B de 1959, article de M. CHARTIER, pages 942 (1^{re} et 2^e colonnes) et 945 (1^{re} colonne):

au lieu de $A = Q\sqrt{S}$, lire $A = Q/\sqrt{S}$.