Ouvrages de dérivation et transports solides

Diversion works and sediment transport

M. Bouvard

Professeur à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

I. Introduction – Historique

A la suite d'une assez longue évolution qui remonte à 1977, nous avons été chargé par le "Comité d'Hydraulique Fluviale" de l'AI RH, lors de son congrès de New Delhi il y a deux ans environ, d'établir les "Directives pour l'établissement des projets d'ouvrages de dérivation des eaux à partir de rivières transportant des matériaux solides". Ceci avec l'aide d'un groupe d'experts comprenant :

Prof. Cecen (Istanbul)
Prof. Graf (Lausanne)
Prof. Bruschin (Lausanne)
Prof. Scheuerlein (Munich)
Prof. Fanelli (ENEL, Milan)

La version française du texte est pratiquement prête et sera publiée aux Editions Eyrolles, dans la collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France. Puis elle sera traduite en anglais dans les mois qui suivront sa publication en français.

Les éléments essentiels de ce document sont constitués par :

– Un rappel des connaissances sur les problèmes de transports solides, et surtout sur l'utilisation que peut en faire un Ingénieur chargé d'établir un projet de dérivation des eaux destiné à éliminer les matériaux solides de la dérivation.

– Des éléments permettant de dimensionner les différentes parties de l'ouvrage, soit :

- Le barrage
- La prise d'eau proprement dite
- Les dégraveurs dessableurs
- L'équipement hydro mécanique (vannes et batardeaux).

– Une monographie de quelques ouvrages en exploitation manuelle, à automatisme hydraulique ou élec-

trique, dans les Alpes françaises ou italiennes. Elle pourrait préfigurer un recueil plus vaste, présentant des ouvrages en service, leurs conditions d'exploitation, la qualité de leurs services.

Ce travail entrainait tout à fait dans le cadre d'une session consacrée aux "Apports de la technique hydraulique aux ouvrages de Génie Civil", et la société Hydro-technique de France a bien voulu nous demander d'en présenter les éléments essentiels. Ainsi allons-nous en présenter plusieurs aspects, en traitant à part les problèmes de "Transport solide", compte tenu de leur importance.

II. Etat actuel des problèmes techniques généraux des ouvrages de dérivation

A. Les disciplines en cause.

La conception, la forme, les détails de réalisation de tels ouvrages, résultent d'un mélange particulièrement inextricable entre :

– Les techniques de l'hydraulique, avec leur "étirement" classique :

• A une extrémité, des équations parfois bien complexes, comme celles de la dissipation d'énergie, c'est-à-dire la transformation de l'énergie de l'écoulement moyen en énergie turbulente, puis la dissipation de celle-ci en chaleur par viscosité.

• A l'autre extrémité, des considérations purement empiriques comme la détermination des affouillements.

• Au milieu, toute une série de résultats intermédiaires tels que la théorie du ressaut.

– Les techniques de génie civil, du calcul, de l'exécution des travaux, à peu près aussi "étirées" entre des "tours de mains" purement empiriques et expérimen-

Figure 1 — Barrage de Strasbourg sur le Rhin — coupe transversale — L'ouvrage comprend 6 passes identiques de 20 m de large.

taux, et des notions d'aspect théorique raffiné, telles que la méthode des éléments finis pour le calcul des contraintes.

L'emploi de l'une et de l'autre de ces techniques se heurte à la difficulté de bien connaître le comportement du sol, aussi bien sous l'aspect hydraulique que mécanique : coefficient de perméabilité, cohésion du sol, élasticité, etc.

— Enfin et surtout — disons bien surtout — les multiples considérations que nous appellerions de “troisième niveau” liées à l'exploitation quotidienne d'un ouvrage de prise :

Les difficultés à changer les étanchéités d'une vanne, la meilleure façon de fixer une grille pour qu'elle ne vibre pas, la mécanique des débris transportés par les rivières — si mécanique il y a, tant ces matériaux sont hétérogènes — les difficultés que soulèvent les matériaux transportés “entre deux eaux” dans l'exploitation des orifices ou canalisations destinés à évacuer les matériaux solides, l'optimisation du système d'élimination de ceux-ci, depuis la simple exploitation de la retenue, jusqu'aux dessableurs, avec au milieu les passes à gravier, l'importance et le degré de sécurité des accès, etc., etc.

B. Progrès et situation actuelle

Compte tenu de toute cette complexité, on ne s'étonnera pas que, si on a constaté des progrès importants, certes, sur ces trente dernières années, on n'a pas noté de véritable révolution.

Un certain nombre d'exposés présentés à cette même réunion ont fait état, hier et ce matin, de rénovation

technique concernant les dispositifs anti-usure des radiers de barrage, les phénomènes d'entraînement d'air, la dissipation d'énergie.

Même les solutions des problèmes de “troisième niveau” ont progressé : l'automatisation a pénétré également cet aspect, notamment en France. Maintenant, les services d'Electricité de France, de la Compagnie Nationale du Rhône, construisent et exploitent des ouvrages de dérivation utilisant, sur une grande échelle, les manœuvres automatiques : commande des vannes principales d'un barrage, manœuvre couplée avec la commande automatique des centrales, et notamment la marche en éclusée — commande des dégrilleurs automatiques. Ceci après qu'une foule de problèmes aient été réglés, à force d'accumuler dans les services d'exploitation une expérience résultant de l'observation quotidienne de très nombreux ouvrages.

L'examen rapide de la coupe d'un barrage de dérivation récent, (Strasbourg, sur le Rhin) permettra de mettre en évidence l'état pratiquement actuel des techniques employées (Fig. 1).

— **Le parafouille aval** est constitué de simples palplanches, associées, comme on le fait désormais de plus en plus, à une protection complémentaire en aval, par des enrochements disposés dans le lit de la rivière.

La profondeur du parafouille aval correspond à la profondeur maximale des affouillements créés par l'écoulement des eaux à travers le barrage, majorée bien sûr par un “coefficient de sécurité”.

— **La parafouille amont**, destiné à réduire les sous-pressions sous le radier, est constitué cette fois d'une

Figure 2 – Ouvrage de prise et déssableur sur le “rio Colorado” (USA) conçu pour un débit maximal de $460 \text{ m}^3/\text{s}$ – Vue en plan schématique – Vue aérienne.

“paroi moulée” descendant plus bas que le parafouille aval en général, et, dans le cas particulier de l’ouvrage examiné, jusqu’à un horizon argileux localisé à 20 mètres environ au dessous du niveau du lit.

On connaît les avantages de cette solution, désormais très utilisée dans les ouvrages de génie civil en général, hydrauliques en particulier, et les économies qu’elle entraîne chaque fois qu’il s’agit de descendre une paroi étanche en profondeur, et dans l’eau.

L’effet de ce “parafouille amont” est complété par un dispositif de drainage du contact “terrain-radier”, suivant la méthode classique.

– **Le radier** lui même est muni d’un dispositif de dissipation d’énergie, constitué de dents placées en aval.

Sa protection contre l’usure était autrefois très généralement assurée par un revêtement en pierre de taille.

L’évolution des prix s’est avérée assez défavorable à ce type de solution, et on utilise désormais souvent un blindage en acier très résistant à l’abrasion.

– **Les pieux** placés sous le radier sont destinés à compléter la résistance au soulèvement du radier. En effet, celui-ci n’a pas à être utilisé pour répartir les efforts transmis par les piles au contact avec le sol, car celui-ci dispose d’une “portance” suffisante pour les encaisser. L’épaisseur du radier a pu, de ce fait, être ramenée au minimum. Mais sa résistance au soulèvement en a été réduite d’autant, et on l’a augmentée – à cause des sous-pressions – en installant tout un dispositif d’ancrage par pieux, dans les alluvions.

Cette solution, qui s’encadre tout à fait dans la “philosophie” du dimensionnement d’un barrage mobile

et montre bien la diversité des solutions envisageables, n'a cependant pas été utilisée, à notre connaissance dans d'autres ouvrages. Elle revient à remplacer du poids "béton" (correspondant à une "surépaisseur" du radier) par le poids du sol entre les pieux, accroché par ceux-ci au radier.

— **Les vannes** sont d'un type désormais d'usage très courant sur les ouvrages de dérivation, et ceci dans le monde entier : ce sont des vannes "segment", avec volet déversant.

La comparaison avec d'autres ouvrages plus anciens, construits sur une même rivière, permet donc de constater une certaine évolution, mais pas de changement profond, sinon ceux qui résultent des progrès normaux dans les techniques de la construction.

III. Problème du contrôle des sédiments

A. Généralités.

Nous rappellerons tout d'abord le rôle très néfaste que jouent les transports solides en général dans les ouvrages hydrauliques.

Le plus grave de ces inconvénients est certainement représenté par le comblement des réservoirs. Celui-ci n'entraîne pas à priori dans le cadre du document sur la "dérivation des eaux à partir de rivières transportant des matériaux solides". L'ampleur du problème — dans beaucoup de cas — mérite qu'on en fasse état systématiquement, quand on mentionne les difficultés dues aux transports solides dans les ouvrages hydrauliques.

Dans le cadre des ouvrages de dérivation, les difficultés sont de plusieurs natures, et résultent tant des effets du charriage — matériaux grossiers restant en général sur le fond du lit — que des matériaux transportés en suspension, essentiellement à cause du caractère turbulent de l'écoulement.

Un ouvrage, à lui seul, donnera une idée de l'importance des problèmes que l'on veut éviter en lui donnant des caractéristiques vraiment exceptionnelles ; il s'agit sans doute du plus grand dessableur du monde, installé pour traiter les eaux dérivées du rio Colorado, aux USA, en vue d'alimenter un réseau d'irrigation (débit maximal $460 \text{ m}^3/\text{s}$), après élimination des matériaux de dimension supérieure à $0,1 \text{ mm}$ (Fig. 2).

Les réseaux d'irrigation se caractérisent en effet par des canaux de très grande longueur, à vitesse d'écoulement très variable dans certains tronçons, fonction de la demande, des nécessités de la régulation. Les matériaux, en suspension dans les canaux à vitesse d'écoulement insuffisante, arrivent alors à se déposer et à boucher complètement ces ouvrages, les mettant hors service. Les dommages ainsi causés sont bien sûr considérables et il existe malheureusement de nombreux exemples de réseaux pratiquement détruits de cette façon.

Dans les ouvrages hydro-électriques, le sable, même très fin, ($1/10$ de millimètre voire moins) arrive à user considérablement les équipements hydro-mécaniques (turbines, notamment). C'est ainsi que de grosses difficultés subsistent à la chute des Bois, alimentée par les eaux de fusion de la Mer de glace, près de Chamonix.

Mais, évidemment, le traitement des questions ainsi soulevées supposerait une bonne connaissance du mécanisme même du mouvement des matériaux transportés — en charriage ou en suspension — l'étude même des ouvrages déjà en service permettant de conduire des observations fort intéressantes sur ce mécanisme fondamental.

Le comité d'Hydraulique Fluviale de l'Association Internationale de Recherches Hydrauliques avait organisé à Lisbonne, en juin 1982, un séminaire sur les "Besoins en recherches dans le domaine de l'hydraulique fluviale", et notamment sur le problème des transports solides. Or, les conclusions de ce séminaire et les observations que nous avons eu l'occasion de présenter dans les chapitres concernant les prises d'eau et consacrés aux transports solides, coïncident et reflètent assez fidèlement les difficultés à résoudre ces problèmes et l'insuffisance des données actuelles.

B Charriage

1. Les conclusions du séminaire de Lisbonne.

L'analyse concernant l'"Applicabilité des équations de transport des sédiments" mentionne "qu'il existe au moins deux douzaines d'équations concernant la quantité de matériaux transportés en charriage, donnant des écarts variant dans le rapport de 1 à 100⁽¹⁾ et que les recherches nouvelles devraient surtout porter sur la vérification des équations de transport de sédiment, en comparant les résultats obtenus *in situ* et sur modèle. De toute façon, on devrait mettre l'accent sur la collecte de données concernant "le charriage en rivière naturelle".

L'analyse présentée sur le "charriage en rivière de montagne" souligne l'importance du phénomène de pavage, et insiste sur le fait que très peu de données sont disponibles pour comparer les résultats d'études en laboratoire et en vraie grandeur. Elle suggère également de développer ce type de recherches.

2. Observation de la "TIWAG" (INNSBRUCK, Autriche)

MM. Lauffer et Sommer ont présenté au Congrès des Grands Barrages à Rio de Janeiro, en 1982 (Q54-R28) une communication dans laquelle ils mentionnent que des résultats obtenus "*in situ*" quant au charriage dans des torrents de montagne des Alpes autrichiennes correspondaient à un écart de 5 à 10 par rapport aux valeurs données par les formules. Ils imputent une partie au moins de cette divergence au phénomène de pavage, en présentant deux photos très suggestives de l'état du lit après une chasse dans un ouvrage de dérivation, et en période normale (Fig. 3).

On peut interpréter ce résultat en reprenant très rapidement la théorie du charriage. Celle-ci compare le frottement τ_0 exercé par un courant fluide sur le fond d'un canal — soit $\bar{\omega}hI$, avec les notations classiques — qui tend à entraîner les matériaux vers l'aval,

(1) On retrouve une conclusion analogue dans le "guide d'hydraulique fluviale" publié par M. Ramette, Ingénieur au Laboratoire Nationale d'Hydraulique, à Chatou, en Avril 1981

Figure 3 — Un exemple extrême de modification des caractéristiques du lit d'une rivière alpestre — Cas de la dérivation du Taschach dans le réservoir Gepatsch —

a) Après chasse hydraulique des matériaux déposés dans l'ouvrage de dérivation, à l'amont
b) État naturel du lit

(Extrait de : H. Lauffer et N. Sommer. "Studies on sediment transport in mountain streams of the Eastern Alps". 14^e Congrès C.I.G.B. — Rio de Janeiro, 1982).

à la capacité de résistance — par frottement et imbrication des matériaux — représenté par τ_{cr} . Si $\tau_0 > \tau_{cr}$, il y a débit solide, croissant avec l'écart entre ces deux grandeurs. La variable τ_{cr} dépend de la granulométrie des matériaux du fond du lit. Suivant la formule de Meyer Peter, elle serait égale à $0,047 \bar{\omega}_s'' d_{50}$, $\bar{\omega}_s''$ représentant la densité des matériaux dans l'eau, d_{50} le diamètre moyen des matériaux du lit.

Alors que la théorie part de l'hypothèse suivant laquelle d_{50} est constant et indépendant du régime des eaux, la photographie du fond du lit présentée par la TIWAG montre qu'il n'en est rien, et que cette variable est en fait indéterminée.

Ce phénomène du "tri granulométrique", de pavage, est considéré désormais comme très important. Mais on ne voit pas comment cette variation du fond du lit pourrait être introduite dans une formule, sans nécessiter une campagne de mesures tout à fait démesurée, et de résultats très aléatoires.

3. Observations diverses

La Compagnie Nationale du Rhône dispose actuellement de résultats d'un très grand intérêt sur le charriage dans le bassin du Rhône, qu'elle observe constamment.

Sur ce bassin, comme d'ailleurs sur celui de la Du-

rance, les estimations du transport solide en charriage ont été constamment réduites depuis les premières évaluations (1947). Actuellement, les Ingénieurs de la CNR n'attachent plus qu'une valeur assez limitée aux formules.

Nous avons pu procéder nous mêmes à une comparaison globale à propos du document sur les prises d'eau. Les formules de charriage, du simple fait qu'elles établissent une relation bien définie entre débit liquide et débit solide, montrent que la dérivation d'un certain débit à partir d'une rivière avec charriage, devrait entraîner un exhaussement du lit à l'aval : on dériverait l'eau sans ses matériaux en charriage, la capacité de transport à l'aval serait réduite d'autant, mais pas la quantité de matériaux à transporter.

Or, dans les très nombreux ouvrages de dérivation exploités par EDF, on ne s'est heurté à des problèmes de ce type que sur un à deux ouvrages, et dans des conditions beaucoup moins graves que ne le laisserait supposer les théories du charriage.

4. Explication historique

Cette situation peut très bien s'expliquer dans le cadre de l'évolution des connaissances en mécanique des rivières.

— Depuis la première formule du français Du Boys (1879) on a dû attendre la période 1930-1940 pour disposer d'une théorie de la similitude à fond mobile, et des techniques d'essai sur modèle (ceci, grâce notamment au Laboratoire de Zurich).

— Compte tenu de l'extrême difficulté — et du prix — des études en vraie grandeur, on a alors considéré les modèles comme de véritables rivières en miniature, infiniment plus faciles à expérimenter, et dont on a tiré des lois — notamment les formules de charriage — considérées comme applicables aux rivières.

— En réalité, les modèles de transport solide sont eux aussi construits et exploités suivant certains procédés classiques (théorie de l'équilibre, la plupart du temps, avec matériaux de granulométrie bien définie) qui peuvent cacher certaines divergences systématiques entre rivières naturelles et modèles. Les formules pourraient ainsi donner des résultats en très bon accord avec les modèles, mais la trop grande rareté des résultats en vraie grandeur n'auraient pas encore permis une vérification réelle de tout cet ensemble.

Notamment, l'importance du phénomène de pavage dans les problèmes de charriage est très souvent soulignée, et ceci notamment au colloque de Lisbonne. Nous avons d'ailleurs eu l'occasion d'attirer l'attention à ce sujet dans une communication présentée au 14^e congrès AIRH, en 1971, à Paris, sous le titre "Déformation des lits alluvionnaires composés de matériaux à granulométrie étendue" (dont d'ailleurs, M. Lauffer et N. Sommer ont bien voulu reprendre les conclusions dans leur communication citée ci-dessus).

S'il est absurde de vouloir nier le très gros apport des études sur modèle dans l'évolution des techniques des ouvrages, des points faibles peuvent subsister dans certaines de leurs applications. D'où l'intérêt porté désormais aux études en vraie grandeur, malheureusement très rares.

C. Suspension

Le phénomène lui-même dépend étroitement de l'action de la turbulence, qui soulève les matériaux tombés sur le radier, et les soumet ainsi à l'influence des vitesses longitudinales de l'écoulement.

D'où une difficulté d'entrée très importante dans le traitement théorique du phénomène : le mécanisme même de la turbulence, malgré des progrès constants, reste rebelle à une analyse débouchant sur des résultats pratiquement utilisables par l'Ingénieur.

Pourtant, la théorie classique (Rouse-Schmidt) n'est pas particulièrement complexe. Elle met notamment en évidence l'importance du paramètre vitesse de chute, d'un grain en suspension dans l'eau calme, rapportée à la vitesse de frottement u_* , paramètre fondamental de l'écoulement turbulent.

Cette théorie compare le flux des matériaux dirigé vers le haut — soit $\epsilon \frac{dC}{dy}$ — à la tendance des matériaux à tomber, soit Cw . L'égalisation de ces deux quantités permet d'aboutir à la concentration C de régime permanente. Ceci dans le cadre de l'écoulement le plus simple possible : canal en régime uniforme (donc à profondeur

y_0 constante), pour lequel on dispose de résultats pas trop discutables concernant la turbulence, et notamment le coefficient de diffusion turbulent des particules fluides : le ϵ introduit ci-dessus.

Plusieurs éléments conduisent néanmoins à limiter la confiance qu'on accordait assez souvent aux résultats de cette théorie.

— le colloque de Lisbonne n'a pas manqué de se pencher sur le phénomène de la suspension.

- Une étude de base, présentée par Kanga-Raju, Professeur à l'université de Roorkee, aux Indes, revient sur plusieurs hypothèses de base de cette théorie, pour se demander si elles sont entièrement justifiées. Ceci, notamment, en ce qui concerne l'assimilation des coefficients de diffusion des particules fluides et solides.

- L'analyse présentée sur les "critères d'établissement des projets de dessableurs" précise en termes lapidaires que "il n'existe pas actuellement de critère pour dimensionner et projeter les bassins de dessablage, qui tiendrait compte de l'effet de variation de débit à travers le dessableur, et du dépôt des matériaux plus fins que les sables".

— des études récentes⁽²⁾ dans lesquelles on a pu mesurer la concentration d'un nuage de particules à partir de la probabilité de présence à une altitude donnée, au cours de nombreux passages d'une seule particule, ont montré que le mécanisme même de la suspension était différent et nettement plus compliqué que la théorie ne l'admet.

Ceci sans parler des phénomènes de dunes, qui, eux, semblent rebelles à toute analyse, et qui pourtant jouent un rôle parfois important dans le transport des matériaux fins.

IV. Conclusions

Si la technologie des ouvrages de dérivation des eaux progresse en fonction de l'amélioration des techniques de construction des ouvrages, de l'utilisation de nouveaux procédés, notamment pour les fondations, de la mise en œuvre d'équipements hydro-mécaniques plus performants, les problèmes posés par les transports solides restent toujours aussi difficiles.

Les connaissances sur la longue chaîne des mécanismes qui gouvernent le mouvement des matériaux, depuis l'érosion jusqu'à l'ouvrage de captage, leur exclusion à partir des eaux dérivées n'ont que peu progressé au cours des dernières décennies. Ceci en particulier du fait du prix et des difficultés que soulève l'expérimentation en vraie grandeur, et l'étude des relations entre le phénomène "*in situ*" et sa reproduction en Laboratoire.

Il semble bien que les efforts à ce titre devraient être accentués, au niveau international, en essayant justement de compenser le prix de ces recherches par une diffusion aussi large que possible. Notamment, le grand nombre d'ouvrages hydrauliques en service en France, de caractéristiques très variables quant à la

(2) S. Petkovic. Contribution à l'étude des divergences entre la théorie classique de la turbulence et les phénomènes expérimentaux. Thèse, Grenoble, Novembre 1982.

géologie, aux fondations, aux transports solides, devrait permettre de tirer des résultats expérimentaux très intéressants quant aux mécanismes de base en jeu, surtout s'ils étaient valorisés par une concertation entre exploitants concepteurs et chercheurs. La Société Hydro-technique de France s'en est préoccupée, par la création d'un groupe de travail qui, justement, serait chargé de participer à cette concertation.

En attendant, l'observation soignée d'ouvrages en

service, le développement de l'information, la publication de compte rendus d'exploitation d'ouvrages en service, devrait faciliter l'étude de nouvelles dérivations, jusqu'à ce que les bases fondamentales de ces problèmes aient suffisamment progressé.

Mais, pour le moment, on doit bien constater que "l'apport des techniques de génie civil aux ouvrages hydrauliques" a plus progressé que dans le sens contraire.

Discussion

Président : M. G. POST

A la fin de l'exposé, le Président remercie le Professeur BOUVARD de la présentation concise et claire qu'il a faite des problèmes posés par les transports solides et de la difficulté de leur solution.

La discussion est ouverte par M. GOGUEL qui propose, pour illustrer une remarque faite par M. BOUVARD, de montrer des photos du dévasement par pertuis spécialisés au barrage d'Oued Fodda en Algérie. L'apport annuel moyen étant de 80 millions de m³, dont 2 à 3 millions de m³ d'apports solides venaient se déposer chaque année dans la cuvette avant percement de ces pertuis en 1959. Depuis la mise en exploitation de ces pertuis, on élimine environ 10 % des apports solides entrant dans la cuvette, en consommant 20 à 30 m³ d'eau pour chaque m³ de solide évacué. M. BOUVARD exprime l'inquiétude que provoque la perte par envasement des réserves d'eau dans les pays, particulièrement africains, où ces réserves sont les plus indispensables et le Président rappelle que la CIGB a créé un Comité consacré à l'étude de l'alluvionnement des réservoirs.

M. GOGUEL montre la pâte qui sort quand on ouvre les pertuis de soutirage percés dans le barrage-poids à 20 m sous le lac de vase déjà constitué à l'amont du barrage, à 50 m sous la R.N. Le plan de la vase n'a pas été abaissé jusqu'au niveau des pertuis mais porte seulement des griffures d'érosion. Si la vanne est trop ouverte, au lieu de vase c'est de l'eau peu chargée qui coule, amenée par ces canaux d'érosion jusqu'au pertuis. Il y a toute une méthode à créer pour savoir quand et comment ouvrir ces ouvrages spécialisés de dévasement.

M. BOUVARD rappelle que les conditions sont beaucoup plus favorables à Serre-Ponçon, où les prises d'eau de l'usine permettent le turbinage des eaux chargées. Le Président et M. LONGUEMARE indiquent que le problème de l'envasement avait été plutôt surestimé à Serre-Ponçon, du fait que les mesures de turbidité des eaux de la Durance avaient été faites au siècle dernier, avant reboisement du bassin versant et mise en place de banquettes de culture. Au pont de Mirabeau, en quarante ans, la turbidité est passée de l'ordre de 10 à 1,5 g/litre et d'autre part, la capacité utile de Serre-Ponçon est de 800 millions de m³ pour une capacité totale de 1,3 milliards, d'où un énorme colot pour stockage des apports solides, dont une grande partie est turbinée en suspension.

M. BEZINGE montre quelques vues de Grande Dixence dans les Alpes suisses. D'abord la prise de Gomer, glacier débitant

80 m³/s en crue, où la charge en solide atteint 15 g/l., puis un dégraveur-dessableur de 800 m³ avec vanne et vérin de cisaillement de 30 tonnes. Le soutirage est fait comme dans des silos à grains. Les 100 millions de m³ d'eau arrivant chaque année dans un bassin inférieur de 700 m de longueur fermés par un barrage-voûte de 70 m de hauteur sont repris par une station de pompage et remontées de 400 m par des pompes de 30 000 CV. Ces pompes doivent être réparées chaque année en raison de l'usure provoquée par les éléments de silice limités par dessablage à la dimension de 200 µm. Cette usure peut être évitée par mise en œuvre d'une prise flottante, tube télescopique de 3 m de diamètre allant capter les eaux propres de surface. Cette prise, pour laquelle tous les essais sur modèle sont terminés et qui coûtera 1,5 millions de francs suisses, sera construite en 1984. Il est rappelé que la retenue de la Grande Dixence capte tous les ans environ 100 000 m³ de limons et sédiments, qui ne vont pas se déverser dans le lac Léman.

Le Président cite ensuite le cas du barrage San-Min-Shia, sur le fleuve Jaune en Chine, étudié dans les années 60 par les russes. Les transports solides en sable sont tels que ce barrage de 100 m de hauteur ne peut être utilisé que sous 50 m de charge, les écoulements devant être continus pour évacuer les sables fins de dimension inférieure à 100 µm. L'eau chargée use les turbines qui doivent être révisées toutes les 2 000 heures. Le transport solide moyen dans le fleuve Jaune est de 36 kg/m³ et le transport maximal peut atteindre 1 000 kg/m³. Au moment des crues, ces limons et la végétation entraînée exigent un dégrillage continu des prises d'eau. Des problèmes analogues se sont posés au barrage de Roseires sur le Nil Bleu, où le transport solide est beaucoup plus faible, 10 à 15 kg/m³, mais où la végétation aquatique est très dense.

M. BOUVARD dit que l'on a essayé, en Amérique, en Tunisie, sur le Niger, d'irriguer avec de l'eau chargée mais qu'il en résulte le plus souvent une détérioration rapide du réseau d'irrigation.

M. LONGUEMARE signale que l'extraction des alluvions des rivières provoque le déchaussement d'ouvrages d'art (pont de Montmélan sur l'Isère, pont S.N.C.F. à Grenoble). Il est nécessaire de prévoir des seuils de stabilisation sur le cours de l'Isère entre Grenoble et St-Gervais.

Le Président. — Je remercie M. LONGUEMARE.

Abstract

Diversion works and sediment transport

The author has been commissioned by the International Hydraulics Research Association to draw up Directives for the Development of diversion tunnels for rivers carrying drifting solids. The study examines the present state of the techniques involved in these problems.

— The paper also examines the hydraulics and civil engineering techniques concerned, in particular with the traditional delicate balance between the sometimes quite difficult theoretical concepts and purely empirical approaches.

The paper studies the different approaches adopted in this regard to the design and execution of a diversion tunnel, recently built on the Rhine river (Strasbourg dam).

Although progress is made continuously, the traditional approaches are by no means discredited, and one is faced with the usual problems of (cutoff) below-average pressures and energy waste.

The major improvements basically lie in the use of modern construction techniques, e.g., for installing waterproof grout curtains in the ground (cutoff) for systems to minimise wear on concrete aprons. In addition, there has been a trend in the gates used towards a well defined type: sector gates with flaps.

The paper discusses the "tertiary" techniques, an expression which covers the many activities involved in the daily operation of facilities including among others:

- maintenance of equipment (leakproof quality of gates), access,
- elimination of floating debris.

i.e., any activity into which experience enters.

Substantial progress has been achieved in the analysis of this type of problem. Automatic systems can now be used for many current operation. Such as operation of gates, cleaning of grates.

— Questions relating to the elimination of solids are considered, of course, on the basis of the laws governing their movement.

The example of one of the largest facilities for eliminating suspended solids for diverting a maximum flow of 460 m³/sec from the Colorado river for hydro-agricultural purposes pro-

vides evidence of the cost involved in this type of project, and therefore of the magnitude of the problems which designers try to avoid when building them.

The paper thus focusses on the problems of travelling solids because of the many effects they have on the type of facility examined.

The following developments can be observed *as regards drifting*: confidence in conventional formulae is diminishing, and the too rare comparisons of these formulae with experimental results show that they overkill. Whereas the present theory has it that serious difficulties should be encountered downstream from diversions of substantial flow (raising of the beds), they virtually never occur in practice, despite the number of books examined by the author. In his view, the explanation is that the present theories are all based on results provided by models and the hypotheses on which these models have been formulated could be inaccurate. In particular, paving phenomena — or the change in the size of the material forming the bed — could have a considerable effect on the river.

The current theoretical approach to suspended substances travelling in the water is somewhat rigid, and is perhaps based on over-simplistic hypotheses. In any event, it does not allow the treatment of some fundamental aspects encountered when setting the dimension of facilities such as sand traps.

These conclusions are fully in line with those reached at the seminar organised by the River Hydraulics Committee of the AIRH in Lisbon in June 1982, on the "Needs for Research in River Hydraulics". On-site measurement of the two types of drifting mentioned is the only way of enhancing the present standard of knowledge about the transport of solids.

The paper ends by underlining that, although there has been some progress in the study and construction of diversion tunnels, much more needs to be done to understand the basic mechanisms. Until then, a systematic study of existing diversion tunnels would allow either research on the motion of solids to be carried out or would provide examples on which the study of new facilities could be based.

The French Version of the "Directives" should be ready before end 1983, followed by the English at an as yet undetermined date.