Technique de la construction des Barrages en pierres lancées dans l'eau courante

CH. BLANCHET, E. I. H.
Ingénieur aux Ateliers Neyret-Beylier et Piccard-Pictet

(*Suite*)

CHAPITRE III

TECHNIQUE PARTICULIERE DE CONSTRUCTION AVEC DES MATERIAUX TOUT-VENANT COUPURE DU RHONE A GENISSIAT

AVANT-PROPOS

Nous avons exposé, précédemment, les faits essentiels relatifs à la construction de massifs en pierres triées (pierres homogènes en grosseur) que l'on jette dans le courant d'eau à barrer, de manière à élever progressivement la crête du massif uniformément sur toute la largeur du courant, suivant la méthode préconisée par M. ISBACH, Directeur du Laboratoire Hydraulique de Moscou (1).

Nous avons examiné ensuite les conséquences fâcheuses, pour l'élévation du massif, de l'emploi des matériaux tout-venant (mélange de pierres de grosseurs hétérogènes). Nous décrivons maintenant une technique spéciale de construction qui corrige et rend efficace le triage des matériaux tout-venant, qui deviennent alors en pratique, beaucoup plus intéressants que les matériaux triés.

Cette technique a été élaborée sur les directives de la Cie Nationale du Rhône, au cours des études sur modèle réduit de la coupure et dérivation du Rhône à Génissiat qui avaient été confiées au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique « NEYRPIC ».

(1) Voir la *Houille Blanche* n° 6. 1946.

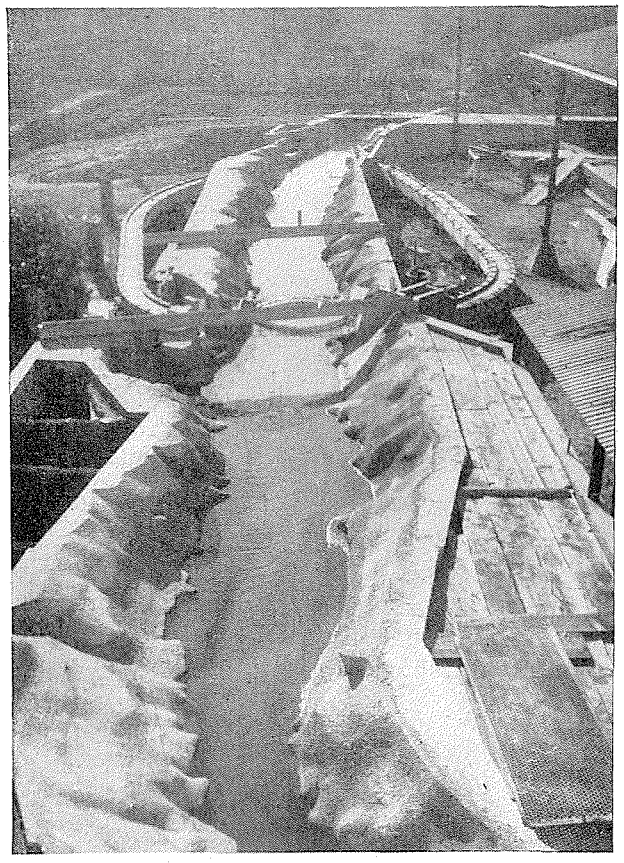


Photo 14. — MODÈLE RÉDUIT AU 1/40. VUE DE L'AMONT AVANT COUPURE. ON APERÇOIT LES DEUX GALERIES, LE PONT AMONT, CELUI D'AVAL MANQUE.

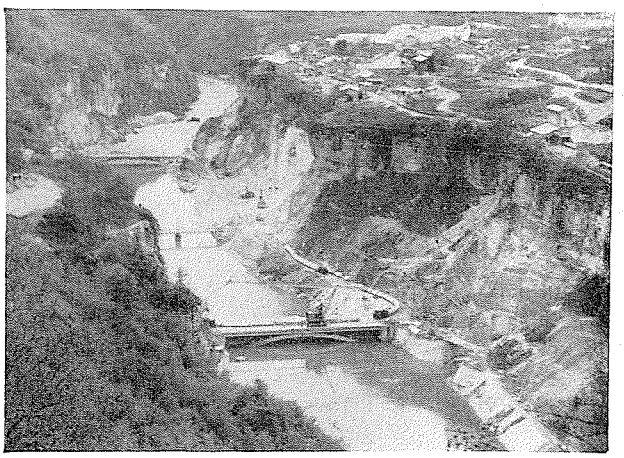
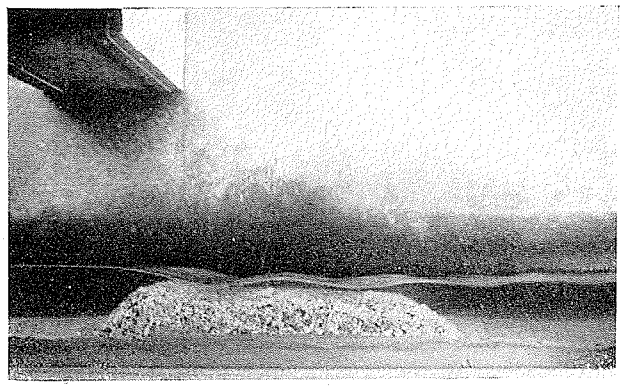


Photo 13. — VUE DU CHANTIER APRÈS OUVERTURE DE LA GALERIE DE DÉRIVATION RD. LES MASSIFS DE COUPURE DERRIÈRE LES PONTS SONT TRÈS PEU VISIBLES.

Article published by SHF and available at http://www.shf-lhb.org or http://dx.doi.org/10.1051/lhb/1947003



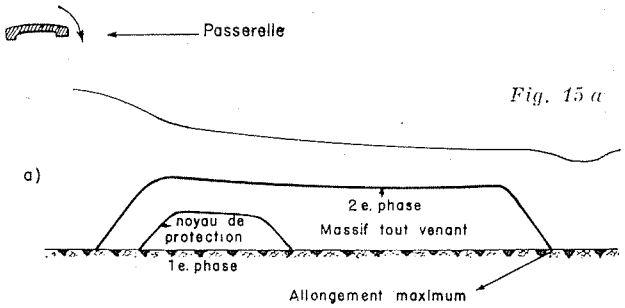
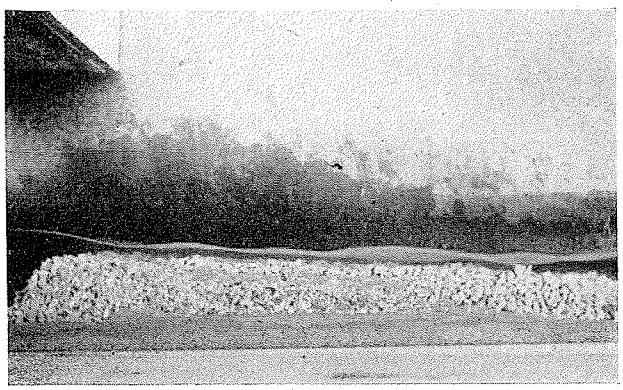


Photo 12 a. — PREMIÈRE PHASE. FORMATION DU NOYAU PROTECTEUR DU FOND CONTRE LES AFFOUILLEMENTS. LES ONDULATIONS DE SURFACE SONT EXPLIQUÉES DANS LE TEXTE.



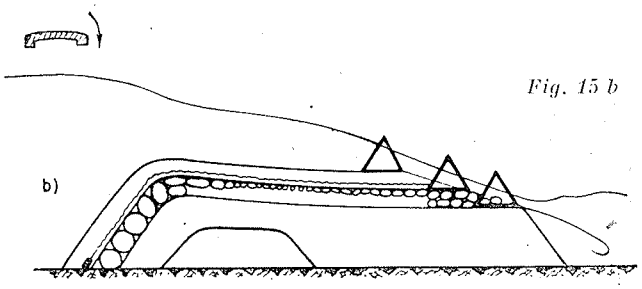


Photo 12 b. — DEUXIÈME PHASE OU PHASE D'ALLONGEMENT. REMARQUER, COMPTE TENU DU NOYAU, LE TRIAGE DES MATÉRIAUX ET LA FAIBLE PENTE DU MASSIF.

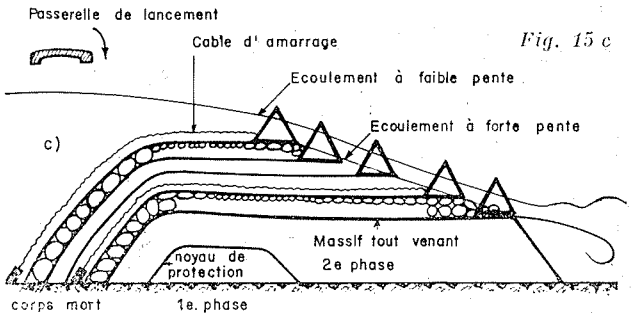


Photo 12 c. — TROISIÈME PHASE OU PHASE D'ÉLÉVATION. LE MASSIF EST TERMINÉ. TOUS LES GROS BLOCS SONT A L'EXTÉRIEUR TANDIS QUE LES ÉLÉMENTS FINS SONT AU MILIEU DU MASSIF.

METHODE DE CONSTRUCTION DU MASSIF

Nous rappelons, tout d'abord, par la fig. 14 (2), le triage et la répartition des matériaux tout-venant dans le massif construit normalement, puis les conséquences de ce triage à savoir que les gros éléments du tout-venant se soustraient à l'écoulement et ne jouent qu'un rôle de remplissage, tandis que les éléments fins se placent sur la zone active du massif, qui, de ce fait, s'allonge beaucoup et s'élève peu.

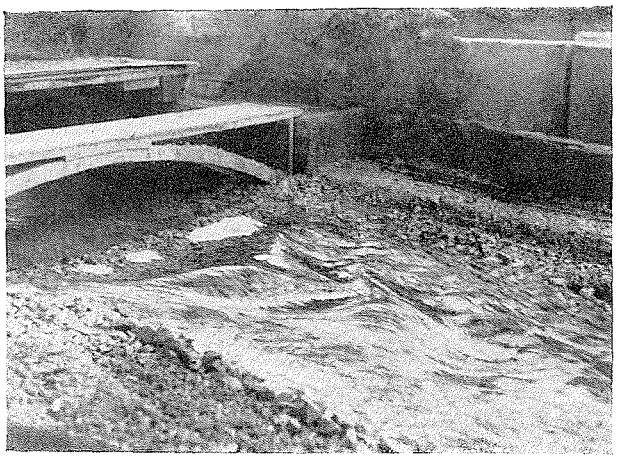
La technique que nous allons exposer permet d'inverser ces rôles, c'est-à-dire de stabiliser les gros éléments dans la zone d'écoulement et les éléments fins dans des zones où ils ne servent qu'au remplissage et à l'étanchéité.

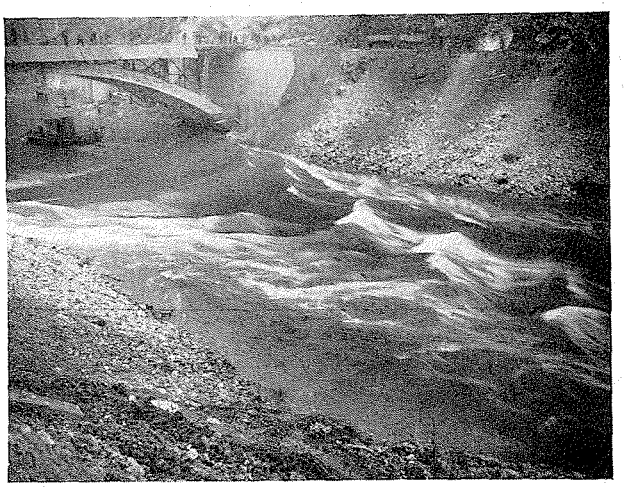
Pour simplifier, nous exposerons directement le mode opératoire en ne le justifiant qu'au fur et à mesure de l'exposé.

La construction comprend trois phases, dont la dernière est la principale.

Première phase ou noyau de protection (fig. 15 *a*, photo 12 *a*). — Comme dans les méthodes précédentes, on constitue d'abord le noyau de protection du lit de la rivière contre les affouillements en jetant des matériaux de

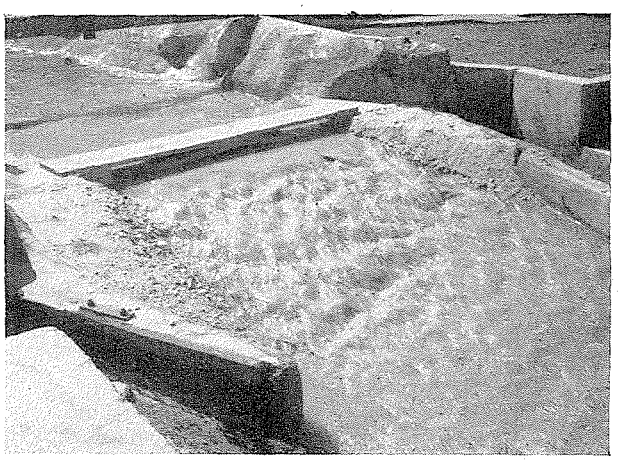
(2) Voir la *Houille Blanche* n° 6. 1946.

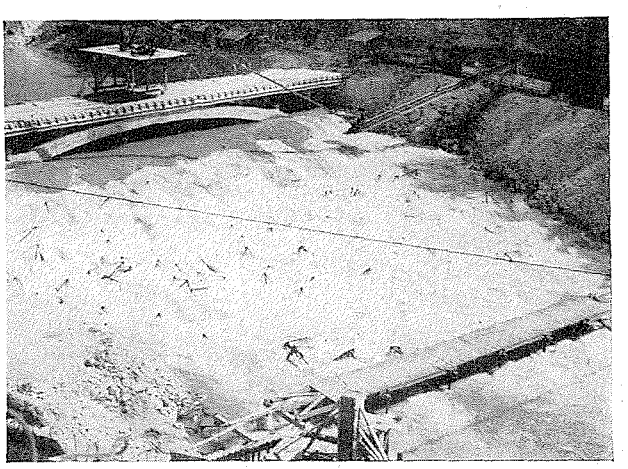




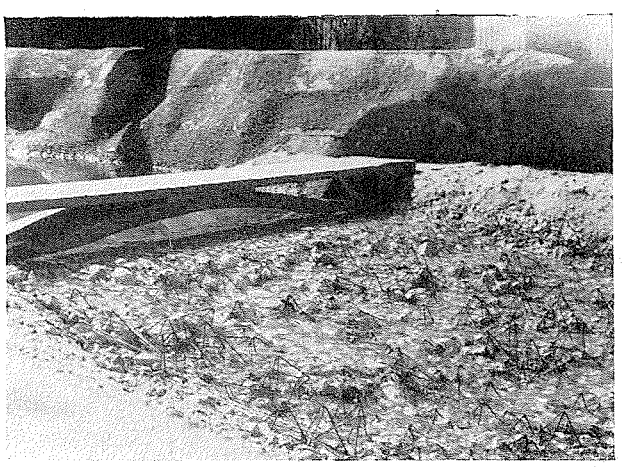
15 a *15 b*

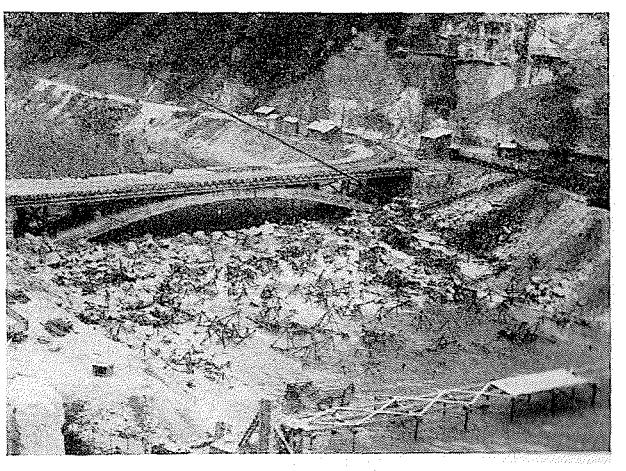
MASSIF AVAL PENDANT SA PHASE D'ALLONGEMENT
sur le modèle réduit au 1/40 (*15 a*) et dans la réalité (*15 b*). Remarquer l'effet des berges rugueuses sur les ondulations de surface.





16 a MASSIF AVAL TERMINÉ *16 b*
16 a) modèle *16 b*) réalité





17 a *17 b*

MASSIF TERMINÉ, APRÈS OUVERTURE DES DÉRIVATIONS
17 a) modèle *17 b*) réalité

grosseur intermédiaire entre ceux du lit et le tout-venant qui sera utilisé pour le barrage. Si ce dernier comprend une assez grande proportion de matériaux analogues en grosseur à ceux du lit, il ne sera pas nécessaire de donner à ce noyau de grandes dimensions.

Deuxième phase ou phase d'allongement (fig. 15 *b*, photo 12 *b*). — On jette toujours, comme précédemment, le matériau tout-venant qui prend successivement la forme des trois premières configurations. On arrête cette opération lorsque le massif atteint sensiblement la longueur que doit avoir le massif final, dont le profil final doit être connu à l'avance, soit par calcul, soit après étude sur modèle. Au cours de cette opération, s'effectue le triage des matériaux déjà décrit précédemment. La pente de la zone à écoulement uniforme est faible. La zone de mise en vitesse se présente souvent avec un abaissement rapide de la ligne d'eau, suivi de quelques ondulations. Cette allure de la ligne d'eau est donnée par la différence de constitution de la surface de la zone de mise en vitesse. La crête est, en effet, formée par des gros blocs peu déviés lors de leur chute dans l'eau, tandis que l'on ne rencontre les éléments fins qu'un peu plus en aval. On conçoit alors que la granulométrie du mélange puisse conduire à une certaine disproportion entre l'élévation de la crête et la mise en vitesse nécessaire à l'entraînement des matériaux vers l'aval. Ce phénomène n'a, en général, que très peu d'importance dans la conduite des opérations, car s'il est une cause d'amorce de brèches, ces dernières n'auront pas, en général, de graves conséquences avec ce mode de construction. Il donne à la surface de l'eau, un aspect ondulé caractéristique comme le montrent les diverses photos.

Troisième phase ou phase d'élévation (fig. 15 *c*, photo 12 *c*). — On utilise alors des engins spéciaux destinés à empêcher les gros blocs entraînés vers l'aval, de rouler sur le talus aval et ainsi de disparaître de la zone active du massif. Ces engins de formes les plus diverses peuvent être de deux types suivant qu'ils offrent aux gros blocs des appuis supplémentaires artificiels ou qu'ils produisent un ralentissement de la vitesse du courant permettant l'arrêt des gros blocs.

Pour simplifier l'exposé nous poursuivrons notre description en prenant comme exemple les ralentisseurs ou « retards » employés pour la coupure du Rhône à Génissiat. Ces « retards » sont constitués par des cornières métalliques assemblées suivant les arêtes d'un tétraèdre (1).

A un sommet de chaque tétraèdre est attaché un câble terminé lui-même à l'autre extrémité par une masse métallique formant corps mort.

L'opération, qui consiste à faire élever le massif sans l'allonger, est alors conduite de la manière suivante : on dispose une première ligne de tétraèdres à l'extrémité aval de la zone à écoulement uniforme. Pour cela, on jette les corps morts sur le talus amont et ensuite les tétraèdres en aval de la crête du massif, les tétraèdres sont emportés par le courant jusqu'au bout du câble, dont les longueurs ont été préalablement réglées pour que les tétraèdres s'arrêtent suivant la ligne voulue. Cette première ligne de tétraèdres étant mise en place, on jette des matériaux tout-venant. Sous l'effet du triage, les gros blocs arrivent à l'aval au droit des tétraèdres, où ils s'arrêtent, car les tétraèdres ont été mis en nombre suffisant pour provoquer le ralentissement nécessaire du courant. La zone des tétraèdres est alors extrêmement rugueuse, car à la rugosité du tétraèdre s'ajoute toute la rugosité des gros blocs ; la pente d'équilibre que prend cette partie est donc très forte. Il en résulte le dépôt sur tout le massif en amont d'une certaine couche de matériaux. Cette couche étant formée, on procède à la mise en place d'une nouvelle ligne de tétraèdres en amont de la première et au lancement d'une nouvelle quantité de tout-venant. Comme précédemment, les gros éléments viennent former une pente raide au droit des tétraèdres, permettant le dépôt d'une nouvelle couche de matériaux sur le massif. On continue ainsi l'opération jusqu'à la dernière ligne de tétraèdres que l'on situera un peu en retrait de la ligne de lancement des blocs.

Le massif, pendant sa phase courante de construction comporte donc, en partant de l'aval :

1° *un talus aval* : celui qui a été obtenu au cours de la deuxième phase avec les matériaux tout-venant seuls.

2° *une zone à écoulement uniforme à forte pente* dont la surface très rugueuse est constituée par les tétraèdres et des gros blocs analogues à ceux qui, dans la deuxième phase, venaient former le talus aval.

3° *une zone à écoulement unifome à faible pente* constituée par les éléments fins et moyens du tout-venant triés par grosseur comme dans la deuxième phase.

4° *une zone de mise en vitesse* semblable à celle de la deuxième phase.

5° *un talus amont* toujours formé par les plus gros blocs qui tombent en amont de la crête, cela si des dispositifs spéciaux n'ont pas été prévus pour remédier à cet inconvénient.

On voit que la zone à forte pente est celle qui provoque l'élévation du massif. Cette élévation

(1) Cette technique d'emploi des tétraèdres et, d'une façon plus générale, des retards, a fait l'objet du brevet N° 859.709 pris conjointement par la COMPAGNIE NATIONALE DU RHÔNE et par les ATELIERS NEYRET-BEYLIER ET PICCARD-PICTET.

est obtenue grâce à la rugosité des gros éléments du tout-venant et à l'allongement vers l'amont de cette surface rugueuse, à forte pente. Le rôle de remplissage est, au contraire, joué par les éléments moyens et fins qui forment la zone à faible pente.

L'art dans la conduite des opérations réside alors dans le dosage des lancements des tétraèdres et des matériaux. Chaque ligne de tétraèdres doit, en effet, permettre une certaine élévation, c'est-à-dire le dépôt d'une certaine couche de matériaux dont il convient de connaître le volume.

Les différents profils que prend le massif peuvent être calculés, car les zones à forte et faible pente du massif sont constituées par des matériaux que l'on peut considérer comme triés.

Connaissant la granulométrie du tout-venant et d'après les volumes nécessaires au talus amont et aux deux zones à forte et faible pente, on peut connaître le diamètre moyen des matériaux constituant chaque zone et faire les calculs du profil en supposant que chaque zone est constituée uniquement par des matériaux ayant ces diamètres moyens. On peut avoir une plus grande précision en faisant plusieurs approximations successives.

Le nombre de « retards » à employer et la détermination de rugosité propre est plus complexe. On aura intérêt, en général, à utiliser un modèle réduit.

Remarques diverses sur cette technique — La forme prise par le massif est telle que les conséquences des amorces de brèches dans la crête sont bien moins grandes qu'avec la construction sans emploi de « retards ».

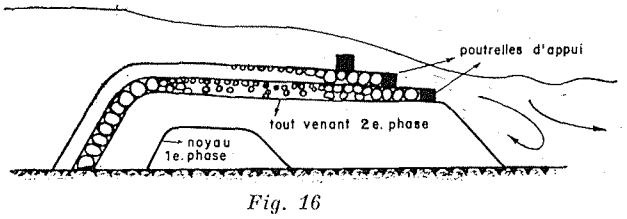


Fig. 16

L'ancrage des « retards » permet une meilleure résistance du massif lors des augmentations de débit ou des abaissements de niveau aval. En effet, une forte partie de l'effort tangentiel supplémentaire exercé par le courant sur le massif est alors absorbée par ces ancrages, tandis que dans la construction ordinaire, les matériaux, à la limite de leur équilibre, ne peuvent supporter une augmentation d'effort tangentiel, ce qui amène les remaniements obligatoires du profil.

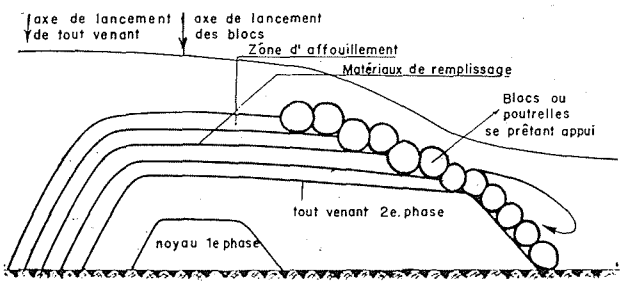


Fig. 17

— Dans la technique employée dans la coupure du Rhône, les câbles d'ancrage sont noyés dans la masse du massif peu après leur mise en place ; ils sont alors protégés contre le choc des pierres.

— Pour diverses raisons, on aura intérêt à utiliser des câbles souples très résistants.

— Pour obtenir un meilleur rendement du tout-venant, on peut facilement imaginer un tremplin de lancement des blocs qui permette aux plus gros blocs de tomber plus en aval que les petites (grille inclinée formée de barreaux divergents) ; on peut arriver ainsi à constituer le talus amont avec des éléments fins et à avoir la totalité des gros blocs dans la zone active. Un résultat sensiblement analogue sera obtenu avec deux lignes de lancement des matériaux.

— Divers engins autres que des tétraèdres peuvent être employés comme « retards », ils seront, en général, formés par un assemblage très ajouré en fers profilés du commerce ou en bois. Les modes de mise en place et d'ancrage peuvent être également très divers.

On peut aussi utiliser des engins qui agissent non par ralentissement des vitesses, mais par l'appui qu'ils offrent aux gros blocs. La fig. 16 montre un exemple de ce type d'engin ; ce sont des poutres transversales saillantes.

— Le double effet de « ralentisseur et appui » peut également être recherché.

— Un cas extrême est représenté par la fig. 17, la zone à forte pente est constituée uniquement par les engins eux-mêmes, qui dans le cas de la figure sont de gros blocs triés. Cette dernière construction est assez délicate, en raison des affouillements qui se produisent à la limite des deux zones ; elle nécessite de plus une précision plus grande dans le dosage de lancement des deux catégories de matériaux.

COUPURE DU RHONE A GENISSIAT

Les travaux provisoires d'assèchement du lit du Rhône, pour la construction du barrage de Génissiat comprenaient, après le percement de deux galeries de dérivation souterraines, une dans

chaque rive, la construction d'un massif de coupure destiné à faire passer le fleuve par ces galeries. Ce massif serait construit en lançant des pierres dans le courant, à partir de l'un des deux ponts de service situés respectivement à l'emplacement des futurs batardeaux amont et aval.

La Compagnie Nationale du Rhône confia l'étude des problèmes hydrauliques relatifs à ces travaux au Laboratoire Dauphinois d'Hydraulique qui, avec l'aide de modèles réduits, entreprit d'abord une étude générale de la construction des massifs en pierres jetées dans le courant, qui fut bientôt limitée au cadre fixé par les conditions particulières au chantier de Génissiat.

Ces conditions étaient essentiellement : le régime du Rhône, la capacité d'évacuation des galeries, les possibilités d'extraction et de transport des matériaux, les dispositions des ponts, l'espace possible pour les massifs, etc...

Le problème fut donc préalablement examiné sous ses aspects les plus divers et ce n'est que lorsque la date de mise en service des galeries fut prévue avec assez de précision, qu'un projet définitif de coupure fut mis au point.

Cette date fixait, en effet, une des données essentielles, à savoir la gamme des débits probables du Rhône durant la construction du massif, sans toutefois en préciser les variations.

Les grandes lignes du projet données par la fig. 18 étaient les suivantes :

Deux massifs de coupure seraient construits simultanément avant la mise en service des galeries et élevés à une cote telle que ces massifs émergent lorsqu'on ouvrirait une première galerie, le débit du Rhône étant 300 m³/sec.

Le lancement des pierres s'effectuerait depuis la bordure aval de chacun des deux ponts.

Les matériaux utilisés seraient du tout-venant (0-50 kg) pour le noyau de la première phase et pour les autres phases des déblais de carrière (0-300 kg), avec emploi de tétraèdres pour raidir la pente et produire une élévation de niveau suivant la technique décrite précédemment. Les tétraèdres de 2,25 d'arêtes seraient constitués par un assemblage de cornières 70/70/7.

Les dimensions du massif aval, prévu par les études sur modèle réduit, étaient : longueur, 60 mètres environ ; largeur, 50 m. ; hauteur, au-dessus du lit de la rivière au moment de l'ouverture de la première galerie, 9 mètres environ.

La construction du batardeau amont effectuée avec les mêmes matériaux, mais sans tétraèdre, devait répondre à plusieurs buts :

— utiliser l'énergie du courant d'eau pour la mise en place des matériaux du batardeau amont : il suffirait, en effet, de basculer les matériaux dans le Rhône depuis le pont amont.

— régulariser l'exploitation de la carrière, gagner du temps sur l'achèvement des batardeaux, augmenter légèrement la dénivellation totale entre l'amont et l'aval.

L'époque de la construction faisait prévoir un débit du Rhône pouvant varier de 140 à 800 m³/sec. avec un débit moyen probable de 300 m³/sec.

La photo n° 13 montre la disposition générale du chantier. Vue de l'amont, on remarque : les entrées des dérivations, les deux ponts, la carrière sur la rive droite, avec ses pelles de chargement ; le train et sa voie à sens unique se bouclant par les rives et des deux ponts à partir desquels les wagonnets étaient directement basculés dans la rivière.

Ce projet conçu à partir des études préliminaires, avait été mis au point en détail avec l'aide de deux modèles réduits ; un modèle en canal vitré sur lequel fut étudié au 1/10e la construction d'une tranche de chacun des massifs et un modèle d'ensemble des lieux à l'échelle 1/40 (photo n° 14).

Le mode opératoire complet fut déterminé dans ses moindres détails : formation du noyau de protection du fond, allongement du massif,

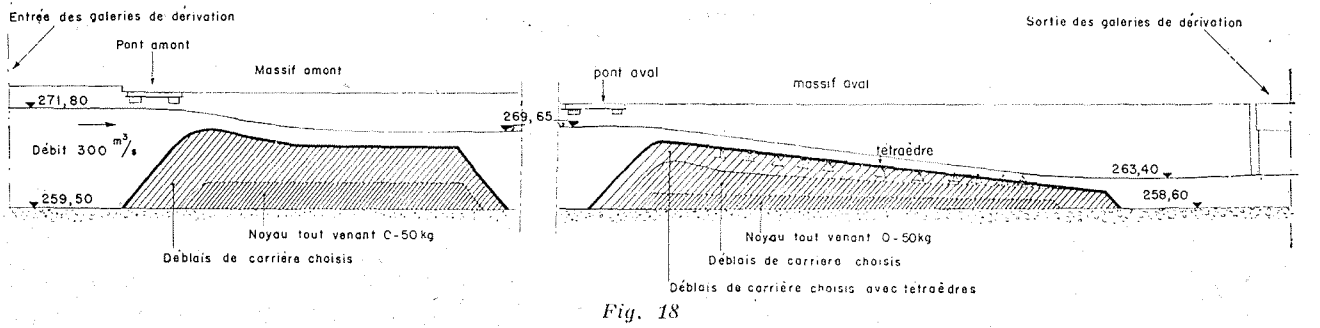


Fig. 18

dosage des jets de matériaux et tétraèdres, protection des berges, effet des arches des ponts, formation des brèches, effet des fluctuations de débit, etc.

L'exécution réelle des massifs suivit presque exactement ces prévisions. Les photos de la page 43 montrent diverses phases de construction du massif aval sur le modèle et dans la nature.

Il y eut, au milieu de la phase d'élévation du massif, une crue de 600 m³/sec. Comme cela avait été indiqué très exactement par le modèle, la crête du massif s'est alors écrêtée d'un mètre, sans que la partie aval subisse de remaniements ; de même des diminutions de débit ont produit, comme prévu, des allongements du massif à l'aval.

Finalement, la différence entre le volume des matériaux utilisés pour la coupure réelle et celui qu'avait donné le modèle, s'est trouvée être inférieure à l'erreur de mesure de ces volumes.

Le nombre total des tétraèdres employés, 500 environ, pour le massif et la protection des berges a été également sensiblement le même que celui prévu, si l'on y retranche ceux qui, perdus par rupture des câbles d'ancrage, ont dû être remplacés.

Au moment de mettre sous presse, nous apprenons la mort de M. René COLOMB, Directeur du Secteur d'Equipement de l'Electricité de France, Arve-Arc.

M. COLOMB avait bien voulu aider *La Houille Blanche* dans son démarrage, et le numéro de reprise de notre Revue présentait à ses lecteurs, un article sur « La Reconstruction de la centrale de Bissorte », œuvre personnelle de M. COLOMB, qui avait tenu à préfacer lui-même le travail de son collaborateur, M. L. POUSSE, Directeur des travaux de reconstruction de la centrale.

Dans notre prochain numéro, nous retracerons la vie de celui qui fut et restera dans nos mémoires, un des plus grands réalisateurs de la technique hydraulique française.

Que Mme R. COLOMB veuille bien trouver, ici, l'expression de nos condoléances émues, et que les collaborateurs de son mari sachent combien nous participons au deuil qui les prive d'un tel chef.