

Déchargeur de l'usine hydroélectrique de Saint-Estève

DISPOSITIFS DE DISSIPATION D'ÉNERGIE

The St. Estève hydro-electric powerhouse unloader ENERGY DISSIPATING DEVICES

PAR M. LAMBLÉ ET M. PEUTOT

INGÉNIEUR A L'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE
RÉGION D'ÉQUIPEMENT HYDRAULIQUE ALPES III

INGÉNIEUR
AU LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE

Communication présentée à la Société Hydrotechnique de France

(Paris, 14 mars 1958)

L'aménagement hydroélectrique de Saint-Estève-Janson entre dans le cadre de l'équipement de la Basse-Durance contribuant à la mise en valeur des réserves de Serre-Ponçon et Castillon. Il est également à l'origine de la dérivation assurant l'alimentation de Marseille en eau potable.

L'étude sur modèle réduite demandée par la Région d'Équipement Hydraulique Alpes III au Laboratoire National d'Hydraulique a porté sur :

- la chambre de mise en charge et l'alimentation des groupes et des déchargeurs,
- les déchargeurs principal et auxiliaire chargés d'assurer la continuité du débit dérivé alimentant les usines de Basse-Durance et du débit alimentant la ville de Marseille,
- les bassins de tranquillisation,
- les organes de sécurité à prévoir dans le canal de Marseille.

La difficulté majeure de l'étude ne résidait pas seulement dans l'importance de la puissance à dissiper (150 MW) dans le déchargeur principal mais surtout dans l'existence, à l'entrée du bassin de tranquillisation, de très grandes vitesses produites par une chute brute de plus de 60 mètres qui provoquaient des projections d'eau importantes en dehors du bassin. La suppression de ces projections exigeait une réduction artificielle des vitesses dans le déchargeur. Ce résultat a été obtenu en disposant sur la plus grande partie du déchargeur des rugosités artificielles, déterminées empiriquement.

Une étude générale de ce problème du freinage d'écoulements à grande vitesse est en préparation et doit permettre d'obtenir facilement dans un cas concret la solution la plus économique.

The St. Estève-Janson hydro-electric development forms part of the scheme for exploiting the Lower Durance and utilises storage from the Serre-Ponçon and Castillon dams. It is also at the beginning of the canal which supplies Marseilles with drinking water.

The scale model study carried out by the French National Hydraulics Laboratory at the request of the Alps Hydraulic Equipment Region III, covered the following points:

- the turbine and unloader forebay,
- the main and auxiliary unloaders which are intended to maintain a continuous flow to the Lower Durance powerhouses and in the Marseilles Canal,
- the stilling basins,
- the safety devices to be provided in the Marseilles Canal.

The main difficulty of the study was not so much the amount of energy that had to be dissipated (150 MW) by the main unloader, as the existence of high flow velocities, at the inlet to the stilling basin, caused by a gross head of 60 metres which threw much water out of the basin. In order to stop the water being thrown out it was necessary to reduce the flow velocity artificially in the unloader. This was done by covering a large part of the unloader with projections after experimental work.

A general study of the problem of slowing down high speed flows is being prepared and should make it possible to obtain the cheapest design easily for any particular case.

AMÉNAGEMENT DE LA BASSE-DURANCE

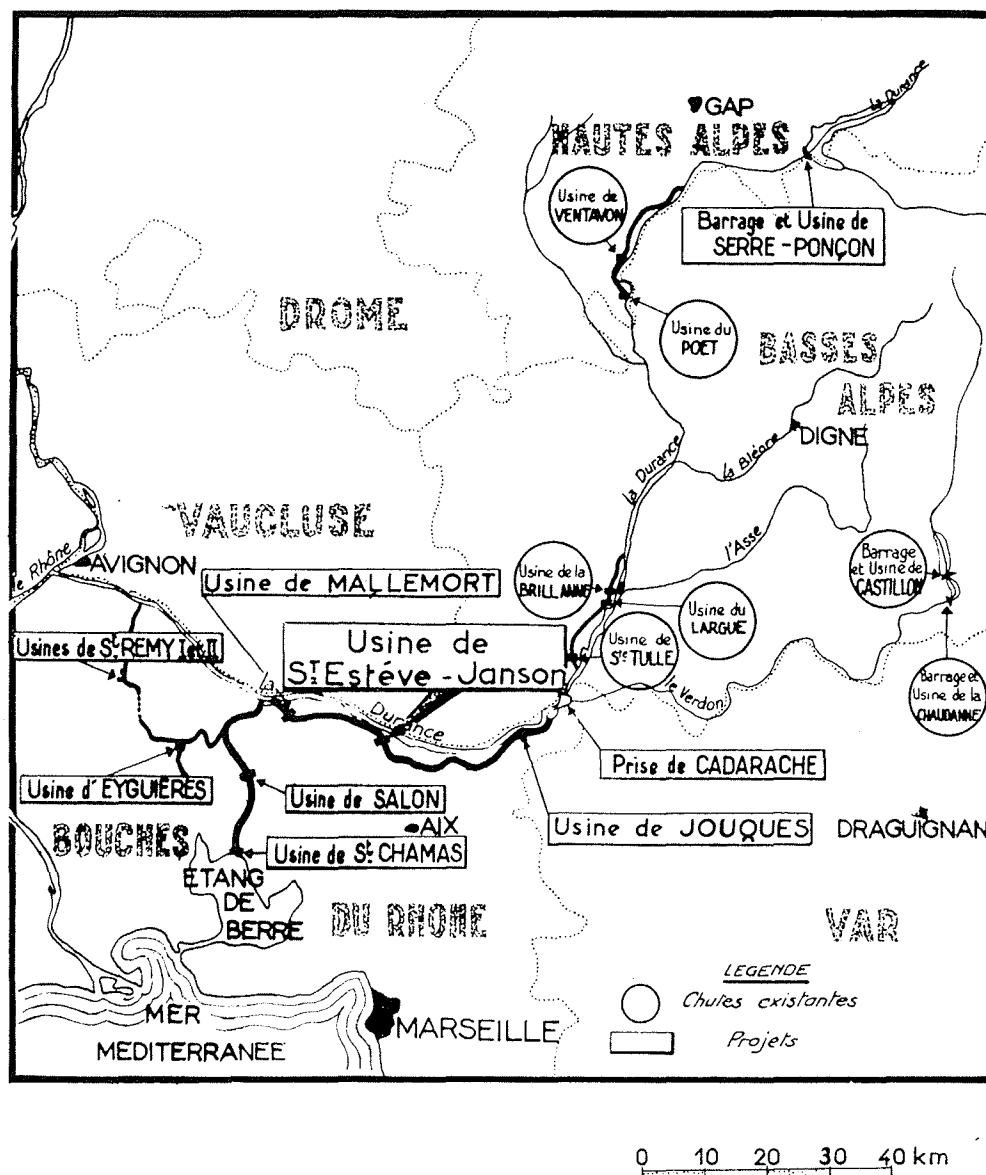


FIG. 1.

INTRODUCTION

L'usine de Saint-Estève-Janson est, dans le cadre de l'aménagement de la Basse-Durance, le deuxième maillon de la chaîne des 5 usines prévues (fig. 1). L'aménagement de la Basse-Durance, qui assurera une mise en valeur des réservoirs de Serre-Ponçon et Castillon, est prévu pour un débit d'équipement de $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Il exploite une particularité topographique : la Durance coule à une cote voisine de 200 m à 30 km de l'étang de

Berre où elle se jetait autrefois en franchissant le col de Lamanon. C'est au cours de l'ère quaternaire que la Durance a été réduite au rôle d'affluent du Rhône, en passant par le seuil d'Orgon qui venait de s'ouvrir à l'Ouest. Le tracé du projet d'aménagement de la Basse-Durance emprunte l'ancien lit de la Durance par le col de Lamanon. Le projet prévoit les usines de Jouques, Saint-Estève-Janson et Mal-

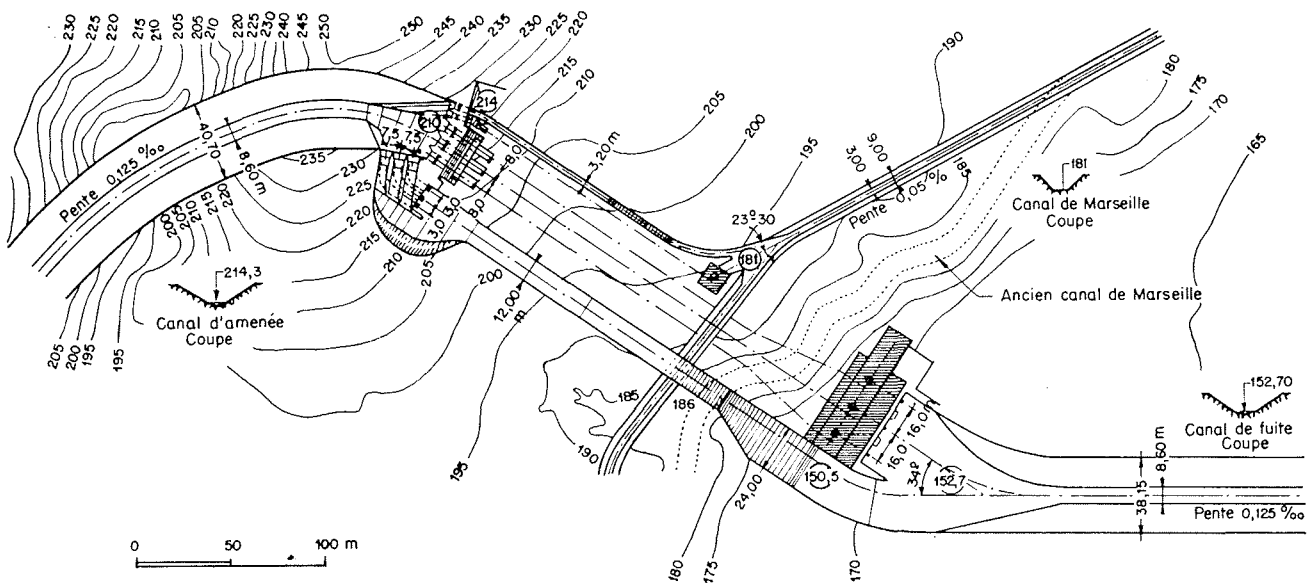


FIG. 2.

lemort sur des biefs en série, parallèles à la Durance et les usines de Salon et Saint-Chamas sur une deuxième dérivation joignant la Durance à l'étang de Berre.

Dans le cas de plusieurs chutes équipées en série sur un même canal, il est indispensable que l'ensemble des usines ne souffre pas de la défaillance de l'une d'entre elles. La continuité du débit doit être assurée, même en cas de déclenchement d'un ou plusieurs groupes. Chaque usine doit donc être dotée de déchargeurs qui ont pour but d'écouler vers les usines de l'aval le débit qui leur est nécessaire sans que ce débit emprunte le circuit normal de l'usine. Leur but est également d'éviter un débordement du canal. L'énergie hydraulique qui n'est plus transformée en énergie mécanique par la turbine doit alors être dissipée au mieux dans les ouvrages de décharge.

L'aménagement de Saint-Estève-Janson se distingue des autres aménagements de la Basse-Durance d'une part par sa hauteur de chute élevée (plus de 60 m) et d'autre part par le fait qu'il se trouve à l'origine du canal d'alimentation en eau potable de la ville de Mar-

seille. Ce canal étant à une cote voisine de 180 m, intermédiaire entre les cotes des biefs amont et aval, une usine auxiliaire peut utiliser la hauteur de chute existant entre le bief amont et le canal; il faut alors prévoir un déchargeur capable d'assurer en cas d'arrêt de l'usine auxiliaire la continuité du débit vers le canal de Marseille.

Le canal d'amenée est alimenté par l'usine de Jouques et il se termine par une chambre de mise en charge (fig. 2) pouvant alimenter :

- au centre, les trois conduites forcées de 5,50 m de diamètre de l'usine principale;
- sur la rive droite, le déchargeur principal;
- sur la rive gauche, la conduite forcée de 2,50 m de diamètre de l'usine auxiliaire et son déchargeur.

La hauteur de chute brute maximum de l'usine principale est égale à 63,8 m et sa puissance installée est de 135 000 kW; les caractéristiques correspondantes de l'usine auxiliaire sont respectivement 39,8 m et 5 000 kW.

BUT DE L'ÉTUDE

Le but de l'étude était la détermination, à l'aide d'un modèle réduit à l'échelle du 1/30, des modifications à apporter aux ouvrages prévus par l'avant-projet :

- chambre de mise en charge;
- vannes d'alimentation des deux déchargeurs;

- profils en long et en largeur de ces deux déchargeurs;
- bassins d'amortissement à l'aval des déchargeurs;
- jonction du déchargeur principal et du canal de fuite;

— organes de sécurité et dispositifs de mesure du débit sur le canal de Marseille.

Seule l'étude de la dissipation d'énergie dans le déchargeur principal et dans son bassin d'amortissement a posé des problèmes délicats. C'est ce point particulier de l'étude qui fait l'objet de la présente note.

ÉTUDE DE L'AVANT-PROJET DU DÉCHARGEUR PRINCIPAL

Le profil en long du déchargeur prévu par la Région d'Équipement était, sans conteste, le plus économique possible puisqu'il suivait de très près le terrain naturel sur une longueur de 160 m, depuis la sortie des vannes de décharge jusqu'au point de franchissement de la dérivation du canal de Marseille (fig. 3).

aval du déchargeur était due à deux impératifs :

- la cote de franchissement imposée de la déviation du canal de Marseille;
- l'intérêt de déplacer au maximum vers l'amont le bassin d'amortissement et l'usine,

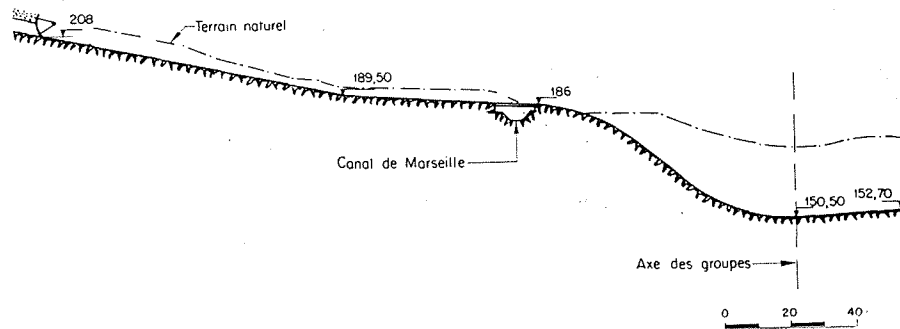


FIG. 3.

La partie terminale du déchargeur possédait une très forte pente, la moitié de la chute environ étant concentrée sur une distance en plan de 50 m.

Le but de placer les ancrages de ce bassin sur des terrains solides et de réduire la longueur des conduites forcées.

Cette concentration de la chute vers la partie

Ce déchargeur dont la largeur prévue était de

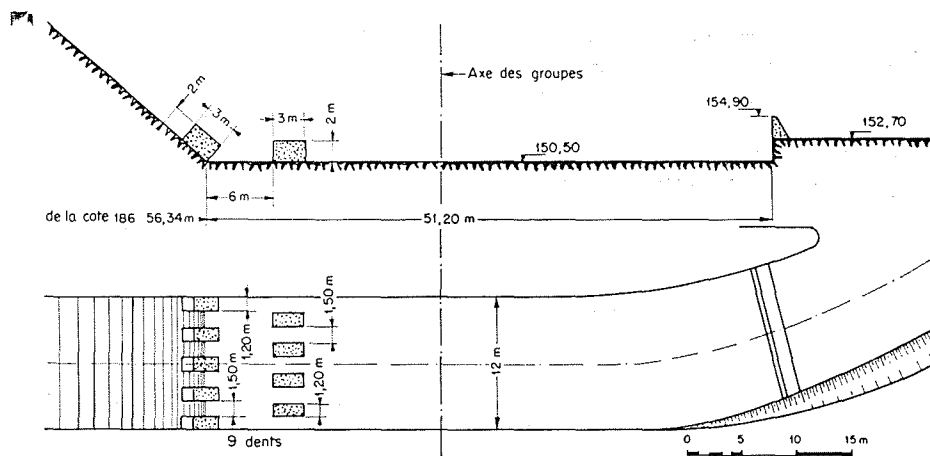


FIG. 4.

12 m, était terminé à l'aval par un bassin d'amortissement de 24 m de largeur, cette dernière paraissant d'ailleurs surdimensionnée. Le fonctionnement du déchargeur prévu, avec un débit de $250 \text{ m}^3/\text{s}$, a provoqué, sur le modèle, une agitation de surface très importante dans le canal de fuite.

Cette agitation correspondant à des fluctuations de niveau supérieures à deux mètres dans le canal de fuite a pu être assez facilement réduite par la mise en place dans le bassin d'amortissement de dispositifs couramment utilisés (dents et seuil) (fig. 4). Ces dispositifs avaient pour effet de transformer le ressaut libre en un ressaut d'exhaussement et de développer dans ce ressaut une turbulence accrue

dissipatrice d'énergie. Les variations de la cote du plan d'eau dans le canal de fuite ne dépassaient pas alors $0,45 \text{ m}$ par rapport au plan d'eau moyen, ce qui était acceptable.

Pendant le problème n'était pas encore résolu en entier puisque des projections d'eau importantes à l'extérieur du déchargeur étaient observées au droit du bassin d'amortissement. Nous avons vérifié que ces projections n'étaient pas dues à la présence des dents placées dans le ressaut mais à l'existence dans la veine torrentielle de vitesses très élevées (20 à 25 m/s) s'accompagnant, dans le cas d'alimentation dissymétrique du déchargeur, d'une répartition des vitesses et des tirants d'eau inégale et fluctuante dans un même profil en travers.

DISPOSITIONS CORRECTIVES ÉTUDIÉES

1. Bassins de dissipation intermédiaires

Les essais effectués avec les ouvrages prévus par l'avant-projet nous ont permis de penser qu'il est indispensable de réduire les vitesses de la veine torrentielle pour supprimer les projections d'eau à l'extérieur du bassin d'amortissement.

La première solution à laquelle nous avons pensé est de fractionner la hauteur de chute totale en ménageant le long du déchargeur, un ou plusieurs bassins d'amortissement intermédiaires.

Après quelques essais, nous avons constaté que pour une même efficacité la solution la plus économique consistait à ne prévoir qu'un seul bassin d'amortissement intermédiaire (fig. 5) conduisant à une perte de charge supplémentaire sensiblement égale à 4 m , ramenant la

charge nette au bas du coursier de 33 à 29 m environ. L'abaissement du seuil placé dans le déchargeur aurait permis de réduire encore de 4 m cette charge nette mais aurait nécessité la réalisation d'un bassin d'amortissement intermédiaire en déblais. Le faible gain obtenu est dû au fait que les solutions économiques conduisent à établir pour le déchargeur un passage au-dessus du canal de Marseille et qu'il n'est pas possible de fractionner la chute existant à l'aval de ce franchissement, la pente du déchargeur étant trop grande.

La solution à laquelle nous sommes parvenus (fig. 5) n'a d'ailleurs pas donné entièrement satisfaction, les projections d'eau restant très importantes. D'ailleurs toute solution de ce type imposerait une grave sujétion : le bassin intermédiaire devrait être maintenu rempli d'eau, sinon le fonctionnement du déchargeur

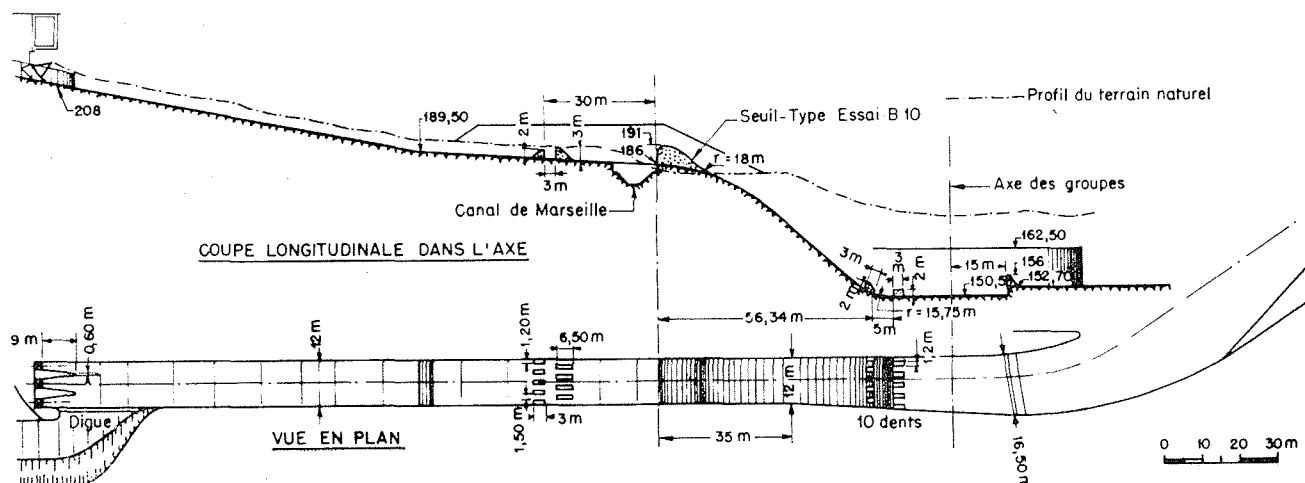


FIG. 5.

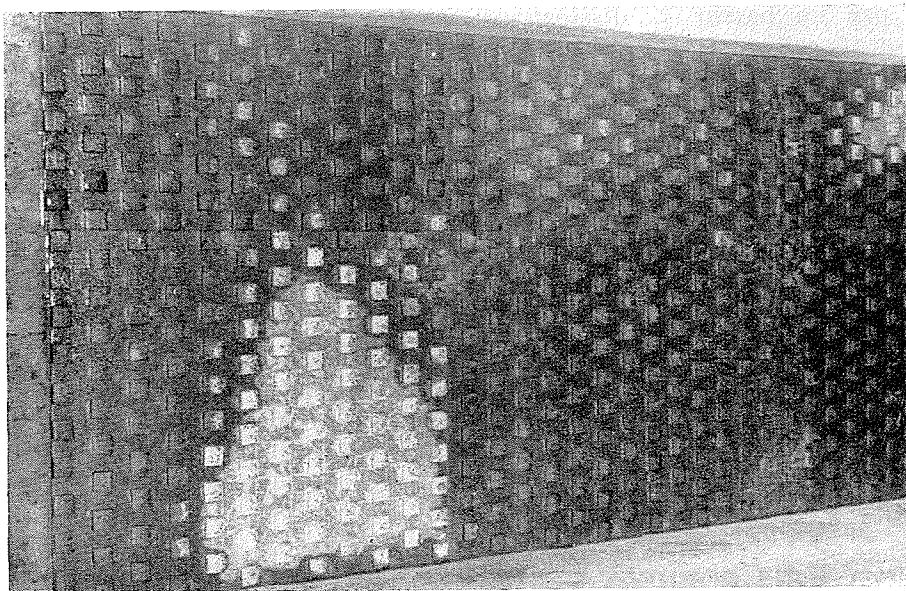


PHOTO I

Déchargeur
muni de dents.
Sans écoulement

après une période d'arrêt assez longue pendant laquelle le bassin intermédiaire se serait vidé, provoquerait dans ce dernier l'arrivée d'un écoulement à grande vitesse dont l'énergie ne se dissiperait qu'en projetant en dehors du bassin intermédiaire une grande quantité d'eau.

2. Pertes de charge artificielles dans le déchargeur

a) ETUDE EXPÉRIMENTALE :

Nous avons envisagé de réduire la hauteur de chute nette à l'aval du déchargeur, en augmentant les pertes de charge dans ce dernier

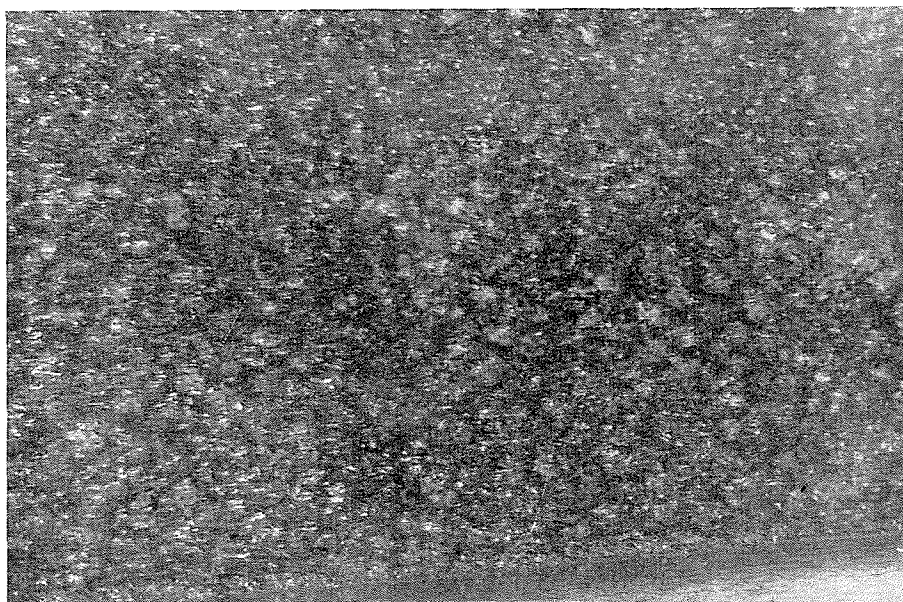
par adjonction de rugosités artificielles. Les dimensions du déchargeur rendant très longue la préparation de chaque essai, nous avons volontairement limité leur nombre en choisissant *a priori* des dents parallélépipédiques à base carrée de 0,60 m de côté.

Nous nous proposons de déterminer la hauteur de ces dents, leur répartition sur le déchargeur et le débit maximum qu'il est possible de faire passer par unité de largeur du déchargeur en supprimant les projections d'eau à l'extérieur du déchargeur et du bassin d'amortissement.

Les deux hauteurs de dents envisagées étaient 0,15 m et 0,30 m. Nous avons dû renoncer, dès les premiers essais, aux dents de

PHOTO II

Déchargeur
muni de dents.
Avec écoulement



0,30 m, ces dernières conduisant à des projections d'eau à l'extérieur du déchargeur.

Les deux dispositions de dents étudiées étaient les suivantes :

- a) densité 1/4 :
 - intervalle séparant deux dents d'une même rangée 0,60 m
 - intervalle séparant deux rangées de dents 0,60 m
- b) densité 1/8 :
 - intervalle séparant deux dents d'une même rangée 1,80 m
 - intervalle séparant deux rangées de dents 0,60 m

Pour les deux dispositions l'écoulement a été régularisé dans le déchargeur. La deuxième disposition a conduit à des pertes de charge beaucoup plus faibles que celles obtenues avec la première disposition et à des projections d'eau plus importantes. Nous avons donc conservé le principe de la première disposition, les parties du déchargeur sur lesquelles des dents devaient être mises en place devant être déterminées à la fin des essais.

Pour la détermination du débit unitaire dont la valeur limite obtenue expérimentalement fixerait le choix de la largeur du déchargeur, nous avons procédé de la façon suivante : les dents ont été mises en place sur le déchargeur de 12 m de large. Nous avons cherché expérimentalement pour le débit à introduire dans le déchargeur la limite maximum correspondant à l'absence de projections d'eau à l'extérieur du bassin d'amortissement. Cette limite

a pu être fixée à 175 m³/s correspondant à un débit unitaire de 14,6 m³/m/s. Le débit total pourrait ainsi être évacué, sans risques de projections d'eau, avec un déchargeur dont la largeur serait égale à 17,15 m. La largeur du déchargeur a été portée à 19 m, cette largeur correspondant à celle des nouveaux ouvrages (3 vannes de surface en remplacement des 3 vannes de fond de l'avant-projet). Les projections d'eau n'ont pas été totalement supprimées mais elle étaient cependant pratiquement nulles. L'apparition de ces projections d'eau pour un débit unitaire inférieur à 14,6 m³/m/s a d'ailleurs une explication : les vannes de surface créent une perte de charge plus faible que les vannes de fond du projet initial (3,30 m au lieu de 7,70 m).

Lors d'essais de mise au point, nous avons d'ailleurs supprimé une partie des dents mises en place, leur nombre étant réduit de 2 700 à 2 000. Ces suppressions de dents ont été effectuées à l'aval des vannes d'alimentation pour éviter les projections d'eau, de faible importance d'ailleurs, existant du fait des faibles tirants d'eau lorsqu'une ou deux vannes restent fermées et dans la partie à faible pente du déchargeur où leur efficacité était la plus faible. Les essais ultérieurs ont permis de mettre au point les ouvrages définitifs du bassin d'amortissement (fig.6).

b) ETUDE DES COEFFICIENTS DE FROTTEMENT.

Nous avons porté sur la figure 7, le profil en long du déchargeur et à partir de ce profil les

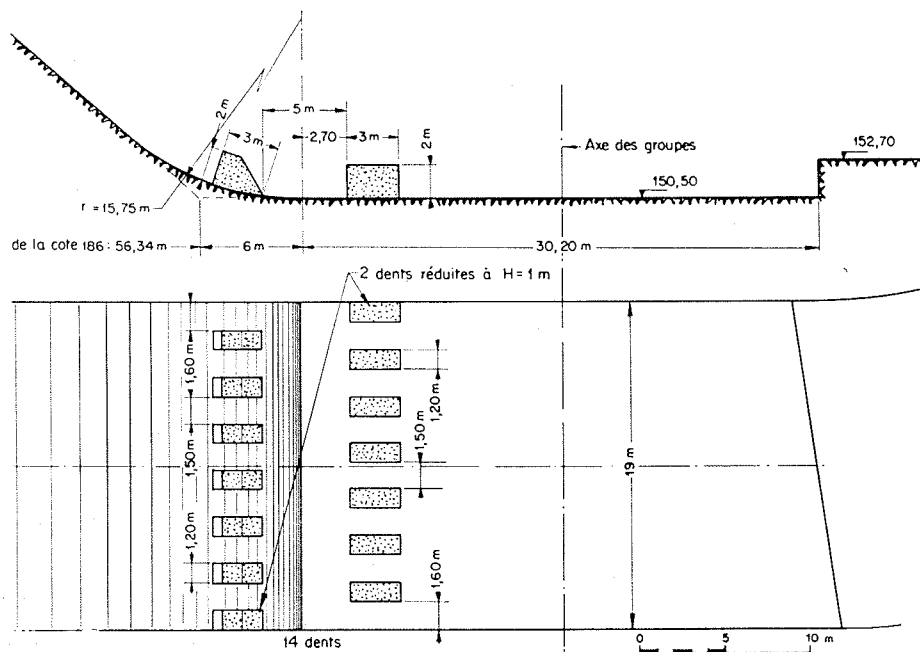


FIG. 6.

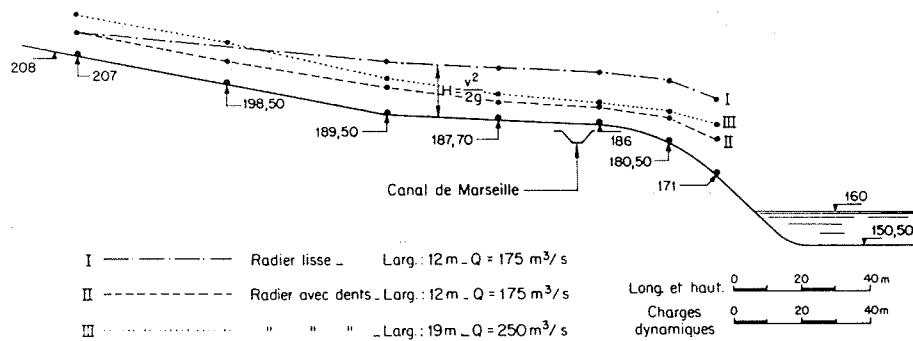


FIG. 7.

valeurs de la charge dynamique $V^2/2g$ pour différents essais.

COURBE I :

Chenal de 12 m lisse débit 175 m³/s;

COURBE II :

Chenal de 12 m avec dents débit 175 m³/s;

COURBE III :

Chenal de 19 m avec dents débit 250 m³/s;

Nous avons adopté une formule du type de la formule de Strickler pour les pertes de charge par frottement :

$$V = K R^{2/3} J^{1/2}$$

V, étant la vitesse moyenne;

K, le coefficient de Strickler;

R, le rayon hydraulique;

J, la perte de charge par unité de longueur.

Nous avons pu déterminer pour chaque essai une valeur moyenne du coefficient de Strickler. Pour le déchargeur lisse, nous avons obtenu un coefficient de Strickler égal à 92 correspondant à un revêtement bétonné de bonne qualité.

Pour les différents essais effectués sur le déchargeur recouvert de dents, le coefficient de Strickler a varié entre 25 et 30. La charge nette à l'aval du déchargeur a pu être ainsi ramenée de 34 à 23 m.

CONCLUSION

Nous avons vu comment les problèmes particuliers relatifs au déchargeur de l'usine de Saint-Estève ont pu être résolus grâce à des essais sur modèle réduit et en adoptant une solution déterminée empiriquement.

Nous pensons que cette méthode de ralentissement d'un écoulement à grande vitesse dans un canal découvert, susceptible d'applications

ultérieures, pourrait être étudiée systématiquement. Le Laboratoire a déjà mis au point le programme d'une étude générale de ce problème, étude qui permettrait de déterminer dans chaque cas concret, à l'aide d'une série d'abaques, la forme, les dimensions et les dispositions d'un système de rugosités optimum.

DISCUSSION

Président : M. FERRY

M. le Président remercie MM. LAMBLÉ et PEUTOT d'avoir fait en si peu de temps et si peu de mots une communication aussi substantielle et qui offre un exemple supplémentaire de l'assurance donnée par une étude sur modèle réduit préalable, permettant d'éviter ainsi des difficultés sérieuses éventuelles, à la mise en route.

Sur la demande de M. le Président, M. LAMBLÉ indique

que l'ordre de grandeur du prix du modèle réduit par rapport au prix de l'ouvrage doit être environ de 1 à 2 % dans le cas particulier envisagé ici.

M. NOUGARO signale qu'au Laboratoire de Toulouse, une étude a été faite, dans le cadre d'une thèse du 3^e cycle d'hydrodynamique, sur les dissipateurs d'énergie au moyen de seuils dentés. Les études qualitatives ont

porté principalement sur la forme des dents et leurs dimensions, leur espacement, leur position. La thèse sera soutenue dans un mois ou un mois et demi, et l'étude sera publiée immédiatement après.

M. le Président remercie M. NOUGARO de ces précisions.

M. METZ demande si l'on a pu mesurer les efforts dynamiques sur les dents et sur les massifs à la base.

M. PEUTOT répond qu'on n'a pas mesuré, mais qu'on a simplement essayé de prévoir, en fonction des pertes de charge créées le long du déchargeur, quels efforts pouvaient être subis par ces dents — ces efforts seraient de l'ordre de 100 kg dans la nature (pour une dent).

Les efforts sur les massifs à la base n'ont pas été mesurés et il est impossible de les calculer de façon précise.

M. GRIDEL indique qu'il existe, en Allemagne, des barrages déversants déjà anciens où l'on a créé des rugosités constituées par des blocs de rochers naturels bétonnés sur le parement aval : ces blocs ne semblent jamais avoir souffert malgré la forte pente (45° à 60°) du parement aval des barrages ; par conséquent ce problème ne paraît pas se poser à Saint-Estève.

En ce qui concerne l'effort sur les gros blocs de base, l'échelle du modèle ne permettrait pas de les mesurer comme cela avait été fait à Chârou pour la dent terminale du déchargeur de Bort-les-Orgues (à l'aide de trois équipements de strain gauges sur les trois axes). On avait alors trouvé un effort, pour environ 75 m de chute

sur l'évacuateur et un débit de 1.200 m³/s, de plusieurs dizaines de tonnes, 20 tonnes pour l'effort transversal et 75 tonnes pour l'effort longitudinal. Ici les chutes et débits moindres permettent de penser que les efforts seront bien inférieurs.

M. le Président demande une précision de détail :

Pour appliquer la formule et en déduire le coefficient de Strickler, il faut calculer une vitesse moyenne, qui est le débit divisé par la section. Quelle section l'auteur adopte-t-il ? Comment interviennent les dents : les considère-t-on comme obturant complètement la section puisqu'elles se recouvrent complètement en profil, ou considère-t-on la section droite par les dents ?

M. PEUTOT répond qu'on considère la section d'écoulement comme entièrement située au-dessus de la face supérieure des dents.

M. BONNIN mentionne que lors d'expériences à petite échelle effectuées par Schilchting sur les pertes de charge occasionnées par une rugosité géométrique de dimensions relatives importantes, cet auteur préconise pour la définition de la section d'écoulement l'adoption d'une surface parallèle à la paroi et distante d'elle de la hauteur moyenne des aspérités, c'est-à-dire du quotient de leur volume total par la surface de la paroi.

M. PEUTOT répond que dans le cas de Saint-Estève les dents ont une hauteur relative faible et que leur disposition en quinconce ne milite pas en faveur de l'adoption de la règle de Schilchting.

