

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 79 (1953)
Heft: 2

Artikel: Le barrage de Belver sur le Tage: ses problèmes hydrauliques et leur résolution
Autor: Stucky, J.P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-59739>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 22.11.2024

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les quinze jours

Abonnements :
Suisse : 1 an, 24 francs
Etranger : 28 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 20 francs
Etranger : 25 francs
Prix du numéro ; Fr. 1.40
Abonnements et n^{os} isolés
par versement au cpte de
ch. postaux Bulletin techni-
que de la Suisse romande
N° II, 5775, à Lausanne.

Rédaction
et éditions de la S. A. du
Bulletin technique (tirés à
part), Case Chauderon 475

Administration
Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président : R. Neeser, ingénieur, à Genève ; Vice-président : G. Epitiaux, architecte, à Lausanne ; Secrétaire : J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg : MM. P. Joye, professeur ; † E. Lateltin, architecte — Vaud : MM. F. Chenaux, ingénieur ; H. Matti, ingénieur ; E. d'Okolski, architecte ; Ch. Thévenaz, architecte — Genève : MM. L. Archinard, ingénieur ; Cl. Grosгурin, architecte ; E. Martin, architecte ; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel : MM. J. Béguin, architecte ; R. Guye, ingénieur — Valais : MM. J. Dubuis, ingénieur ; D. Burgener, architecte.

Rédaction : D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration
de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président ;
M. Bridel ; G. Epitiaux, architecte ; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces

| | |
|----------|-----------|
| 1/1 page | Fr. 264.— |
| 1/2 » | » 134.40 |
| 1/4 » | » 67.20 |
| 1/8 » | » 33.60 |

Annonces Suisses S. A.
(ASSA)



5 Rue Centrale. Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE : *Le barrage de Belver sur le Tage*, par J. P. STUCKY, ingénieur E. P. U. L. — Formation et organisation professionnelles : *La formation technique de l'ingénieur-chimiste moderne*. — DIVERS : *Bourses universitaires*. — CARNET DES CONCOURS. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION GÉNÉRALE. — DOCUMENTATION DU BATIMENT. — NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES.

LE BARRAGE DE BELVER SUR LE TAGE

Ses problèmes hydrauliques et leur résolution¹

par J. P. STUCKY, ingénieur E. P. U. L.

I. Introduction

Production et consommation d'énergie électrique du Portugal

Depuis une quinzaine d'années, le Portugal a fait un immense pas en avant dans le domaine de la production d'énergie électrique. D'une superficie de 92 000 km² et avec une population de près de 8 millions d'habitants (Portugal continental et îles de Madère et des Açores), sa richesse était, avant 1940, d'origine agricole surtout ; les produits de la pêche, les conserves et le commerce maritime représentaient également une proportion importante du revenu national, tandis que l'industrie jouait un rôle beaucoup moindre.

Mais la génération actuelle a saisi l'intérêt qu'il y a de développer l'industrie nationale pour s'affranchir, dans une certaine mesure du moins, de la dépendance économique de l'étranger. C'est ainsi que depuis quelques années se sont ouvertes de nombreuses fabriques et

usines : appareils ménagers et industriels de toute nature, moteurs électriques, bicyclettes, machines à coudre, appareils médicaux, etc. L'industrie lourde a également fait son apparition, en livrant des conduites forcées, des vannes de barrages, des bateaux, wagons de chemin de fer, etc. Enfin, l'industrie chimique cherche à produire les engrais nécessaires à l'exploitation rationnelle des terrains de culture, dont une partie de plus en plus importante est mise en valeur par l'aménagement de réserves d'eau et d'installations d'irrigation.

Un tel développement ne pouvait se produire sans être précédé d'une augmentation radicale des ressources électriques du pays. C'est ce qu'a compris le gouvernement qui, aidé de quelques compagnies privées, a mis sur pied un vaste programme d'aménagements hydroélectriques, dont la réalisation a commencé à partir de 1946, et dont le but est non seulement de fournir l'énergie électrique nécessaire à l'industrie naissante, mais aussi de diminuer les importations de charbon étranger par l'arrêt progressif de l'exploitation des vieilles centrales thermiques. En 1938 ces dernières, pour deux tiers, et les usines hydrauliques, pour un tiers, produisaient en tout 400 millions de kWh. Dix

¹ La partie théorique de cet article a été publiée en langue portugaise dans la *Revista da Ordem dos Engenheiros*, n^{os} 87 et 88, Lisbonne, mars-avril 1951. Nous en donnons ici un extrait. Le barrage ayant été mis en service au début de 1952, il nous a paru intéressant d'y ajouter un chapitre concernant les expériences réalisées au printemps 1952 sur l'ouvrage terminé.

ans plus tard, ce chiffre avait doublé. Mais c'est depuis quelques années surtout que l'effort entrepris a commencé à porter ses fruits. En 1950 entré en service l'usine hydroélectrique de Pracana, au pied d'un barrage à contreforts massifs, et capable de produire 50 millions de kWh par année puis, en 1951, les usines de Castelo do Bode sur le Zêzere, au pied d'un barrage-voûte de 110 m de hauteur, avec 300 millions de kWh par an, et de Venda Nova sur le Cavado avec 100 millions de kWh. Enfin, dès le début de 1952, l'usine de Belver sur le Tage mettait à disposition de l'industrie chimique et d'un réseau privé 125 millions de kWh par an. Cet effort remarquable se poursuit et de nouvelles usines, la plupart à accumulation, sont actuellement en construction et entreront en service dans un ou deux ans de sorte que l'on pourra compter, en 1954 déjà, sur une production annuelle de 1 milliard et demi de kWh hydrauliques. Il n'est pas prévu, pour le moment du moins, d'augmenter la puissance des centrales thermiques existantes, dont la production annuelle restera limitée provisoirement à 400 millions de kWh en chiffre rond.

La plupart des usines hydrauliques portugaises modernes sont du type à accumulation. Des vallées évasées et à faible pente offrent des conditions idéales pour la création de grandes retenues : le lac de Castelo do Bode, par exemple, mesure 59 km de long et crée une accumulation de 1070 millions de m³, avec un barrage de 110 m de hauteur. Par contre, les chutes sont en général restreintes. A Castelo do Bode et à Pracana, l'usine est située au pied du barrage ; dans le premier cas, la chute varie de 95 à 53 m, et dans le second de 58 à 24 m. L'usine de Venda Nova, située dans les

régions plus montagneuses du Nord, travaille sous une chute moyenne de 395 m. La plus grande chute installée actuellement, dans la Serra de Estrêla, approximativement au centre du pays, atteint 594 m. Quelques bassins d'accumulation, construits en général dans le Sud, quoique pourvus d'une petite usine électrique, ont pour but principal l'irrigation, en particulier celle des rizières dont le nombre et la surface ont énormément augmenté depuis quelques années. Quant aux barrages eux-mêmes, ils constituent, à l'heure actuelle, une des plus intéressantes collections, tant par leur hardiesse que par leur diversité : digues en enrochements, digues en terre, barrages-poids et voûte ; enfin, le barrage de Pracana, de 60 m de hauteur, démontre que le barrage à contreforts massifs (ou évidé) n'a pas perdu ses titres de noblesse en dehors de nos frontières. Cette énumération suffit à prouver combien les ingénieurs portugais ont su s'affranchir des idées préconçues pour adapter chaque ouvrage aux conditions particulières de leur pays. Cette saine conception a porté ses fruits : aucun incident grave n'a jusqu'à présent troublé la mise en service de ces nouvelles usines.

L'aménagement hydroélectrique de Belver

Le barrage de Belver est le premier grand barrage portugais au fil de l'eau. Une de ses caractéristiques principales réside dans l'énorme disproportion qui existe entre les débits économiquement utilisables du Tage, 200 à 300 m³/sec, et celui des grandes crues, estimées à 18 000 m³/sec. A titre de comparaison, signalons que les usines modernes sur le Rhin, un peu en amont ou en aval de Bâle, sont équipées pour un débit de

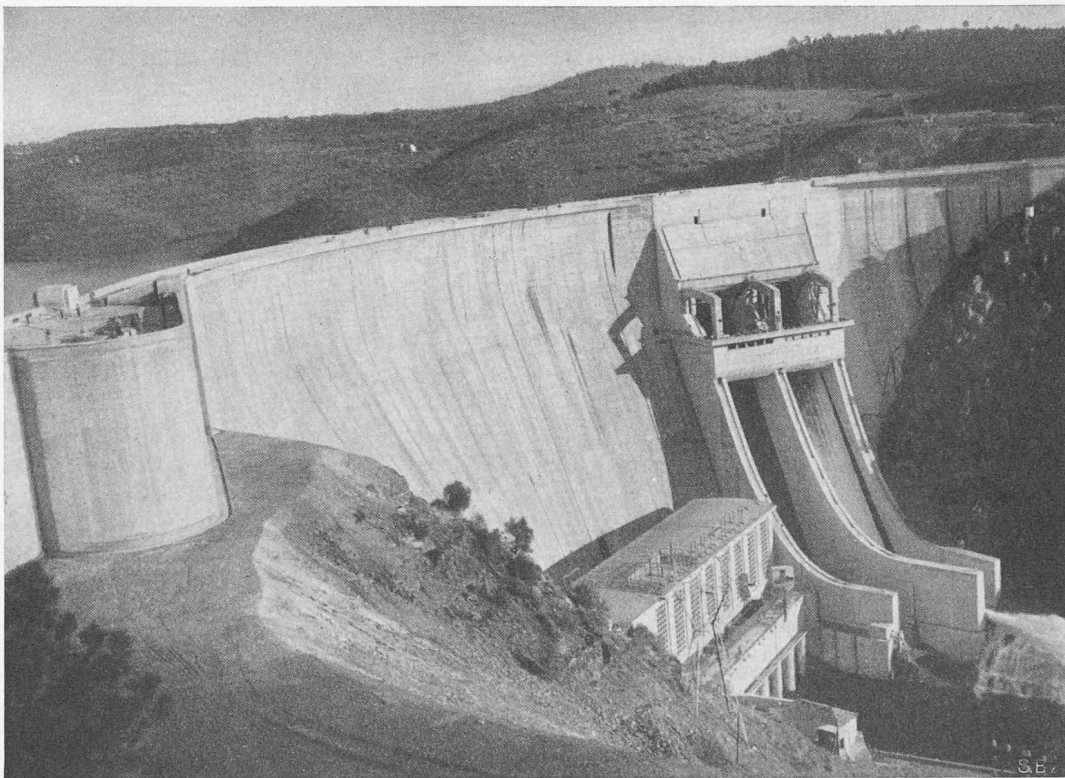
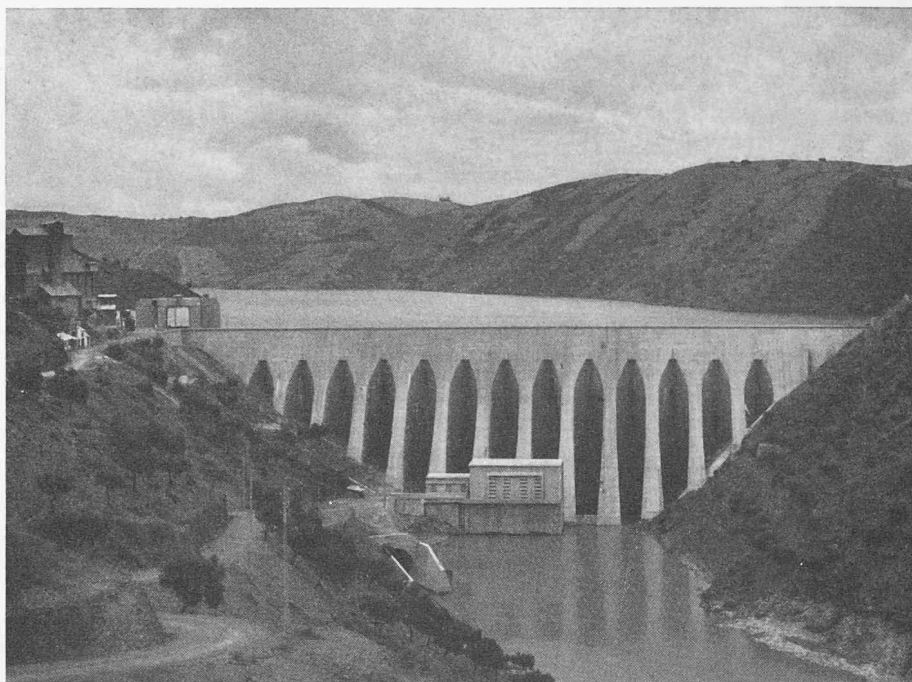


Fig. 1. — Le barrage de Castelo do Bode sur le Zêzere. Barrage-voûte de 110 m de hauteur, usine (3 × 73 000 CV) et évacuateur de crues (4000 m³/sec).

Cliché « Schw. Bauzeitung »

Fig. 2. — Le barrage de Pracana. Barrage à contreforts massifs, de 60 m de hauteur, usine ($2 \times 10\,000$ CV) et évacuateur de crues (puits vertical avec vanne cylindrique, et galerie horizontale : $1650\text{ m}^3/\text{sec}$).



1000 à $1200\text{ m}^3/\text{sec}$, alors que les crues sont de l'ordre de 5000 à $6000\text{ m}^3/\text{sec}$.

C'est grâce à des conditions topographiques et géologiques particulièrement favorables, sol de fondation rocheux recouvert de peu ou pas d'alluvions, et grâce à un étiage prolongé du fleuve qui permet de travailler pendant de longs mois à l'abri de batardeaux insignifiants, que le coût d'installation du barrage de Belver est relativement bas et que cet aménagement est rentable, malgré le grand écart entre les débits aménagés et ceux des crues. Situé à 170 km environ de l'embouchure du Tage dans l'Atlantique, le barrage de Belver constitue le premier palier (en remontant le fleuve) pratiquement et économiquement réalisable de l'aménagement hydroélectrique du Tage portugais. Le palier suivant, encore à l'état de projet, est celui de Fratel, situé à 20 km en amont. Les énormes crues à évacuer font du barrage de Belver un des plus grands barrages à vannes d'Europe : il comprend, en effet, 12 pertuis identiques de 17 m de largeur, obturés par des vannes doubles métalliques du type wagon avec boggies d'une hauteur totale de 14,15 m.

Le Tage

Le Tage est le fleuve le plus long de la péninsule Ibérique : il mesure environ 1100 km de longueur. Il traverse, en Espagne, la Nouvelle-Castille et l'Extremadura, puis forme la frontière entre l'Espagne et le Portugal, sur une longueur de 43 km. Le tronçon portugais du Tage a une longueur de 230 km. La source du fleuve se trouve à 1590 m d'altitude ; au passage de la frontière portugaise son niveau d'étiage n'est plus que 70 m au-dessus du niveau de la mer, et avant de se jeter dans l'Atlantique, il forme l'un des plus célèbres estuaires, dont Lisbonne a fait son port, capable, dit-on, d'abriter toutes les flottes du monde. La surface totale du bassin hydrographique du Tage se divise en $56\,750\text{ km}^2$ sur territoire espagnol et $24\,850\text{ km}^2$ sur

territoire portugais. Dès la frontière portugaise, le Tage pénètre dans une vallée relativement profonde, de 60 km de longueur ; ce tronçon, d'une dénivellation de 40 m, ne manqua pas d'attirer l'attention des hydrauliciens. Vallée étroite et sauvage, autrefois protégée par des châteaux forts dont on trouve encore les ruines, elle laisse apparaître, dans un paysage pittoresque, quelques restes d'un chemin de halage en maçonnerie sèche construit il y a plus d'un siècle. Le Tage y coule généralement dans un lit mineur, souvent à même le rocher tantôt granitique, tantôt formé de calcaires schisteux. Presque chaque année, les crues de l'hiver font monter le niveau de 10 à 15 m. On a même noté des augmentations de 25 m en quelques jours. La rive droite est actuellement parcourue par une ligne de chemin de fer qui, construite peu après la crue centenaire de 1876, rappelle, par son profil en long, les caprices du fleuve. Les crues du Tage sont très rapides et provoquées, en général, par la conjonction d'une période de fortes pluies sur le bassin inférieur avec la fonte des neiges des hauts plateaux de l'Espagne.

Les annuaires hydrographiques indiquent, à la frontière portugaise, un débit annuel moyen du Tage de l'ordre de $250\text{ m}^3/\text{sec}$. Il est vrai que ce débit est très irrégulier. Le débit journalier pouvait descendre, il y a peu d'années encore, à $10\text{ m}^3/\text{sec}$ et la crue maximum, observée en 1876, est estimée suivant les uns à $14\,000\text{ m}^3/\text{sec}$, selon d'autres à $16\,000\text{ m}^3/\text{sec}$. Toutefois, la perspective d'une régularisation des débits du Tage par la construction d'une série de grands réservoirs sur ses affluents espagnols, actuellement en voie de réalisation, ainsi que des conditions topographiques et géologiques particulièrement favorables, incitèrent une société privée, la *Hidro Electrica Alto Alentejo*, à construire une première usine au fil de l'eau, celle de Belver, d'une chute de 15 m, à la sortie des gorges décrites ci-dessus, tout en se réservant l'aménagement ultérieur du palier supérieur, celui de Fratel, d'une chute de 25 m.

II. Le barrage de Belver

L'ensemble des ouvrages se compose d'un barrage à vannes de 12 pertuis, d'une longueur totale de 259 m, d'une usine sur rive droite, de 80,50 m de longueur, et d'un barrage-poids sur rive gauche, de 112,50 m de longueur, à travers lequel pourra être aménagée, plus tard, une écluse de navigation. L'emplacement du barrage a été choisi de manière que tous les ouvrages reposent sur un terrain de fondation convenable, mais aussi de façon que l'on dispose d'une largeur de vallée suffisante pour évacuer les grandes crues du Tage sans surélévation exagérée du niveau naturel du fleuve, et par conséquent sans risque d'inonder la voie du chemin de fer qui longe la rive droite.

Les fondations

Les fondations des ouvrages en béton et en maçonnerie sont constituées par du schiste bleu noir, en général de bonne qualité. Avant la construction du barrage et en période d'étiage, ces schistes affleuraient sur une grande partie du profil de la vallée. Ce fait a considérablement facilité l'exécution des travaux qui ont pu être réalisés en fouilles ouvertes. La profondeur des fondations est en général de 5 à 6 m dans le rocher ; en quelques endroits, on a rencontré une roche plus ou moins délitée, dont les fissures, nombreuses et fines, étaient remplies d'argile ; les fondations ont alors été approfondies localement de manière à rencontrer une

roche plus saine. On a exécuté, en outre, des injections de ciment systématiques dans la zone de contact béton-rocher, sur toute la longueur du barrage, sous le seuil amont, et de l'usine, sous la trompe d'entrée des bâches spirales. Ces injections, exécutées après l'achèvement des travaux de génie civil, sous une pression maximum de 5 kg/cm², ne pénètrent en général pas à plus de 5 m de profondeur dans le rocher, excepté sous l'usine, où les forages ont atteint 10 à 11 m de longueur. Leur but était avant tout de consolider l'assise de fondation du barrage et d'empêcher que certaines fissures remplies d'argile puissent être peu à peu délavées par les infiltrations d'eau.

Sous le barrage proprement dit, les trous d'injection, perforés au marteau pneumatique, étaient espacés tout d'abord de 11 m. Après leur injection, on a perforé une deuxième série de trous entre les premiers. Le résultat des essais de perméabilité et les quantités de ciment absorbées sont résumés dans le tableau n° 4. Les pertes d'eau et les absorptions de ciment plus faibles de la seconde série prouvent l'efficacité de la première. Les résultats observés lors de l'injection des forages exécutés au droit de l'usine au moyen d'une sondeuse à couronne, et espacés de 5 m, montrent que le rocher de la rive droite était un peu plus perméable que sous le barrage. Il est intéressant de signaler à ce propos qu'au cours de l'exécution des fouilles de l'usine sont apparues diverses sources qui, quoique plus basses que le niveau

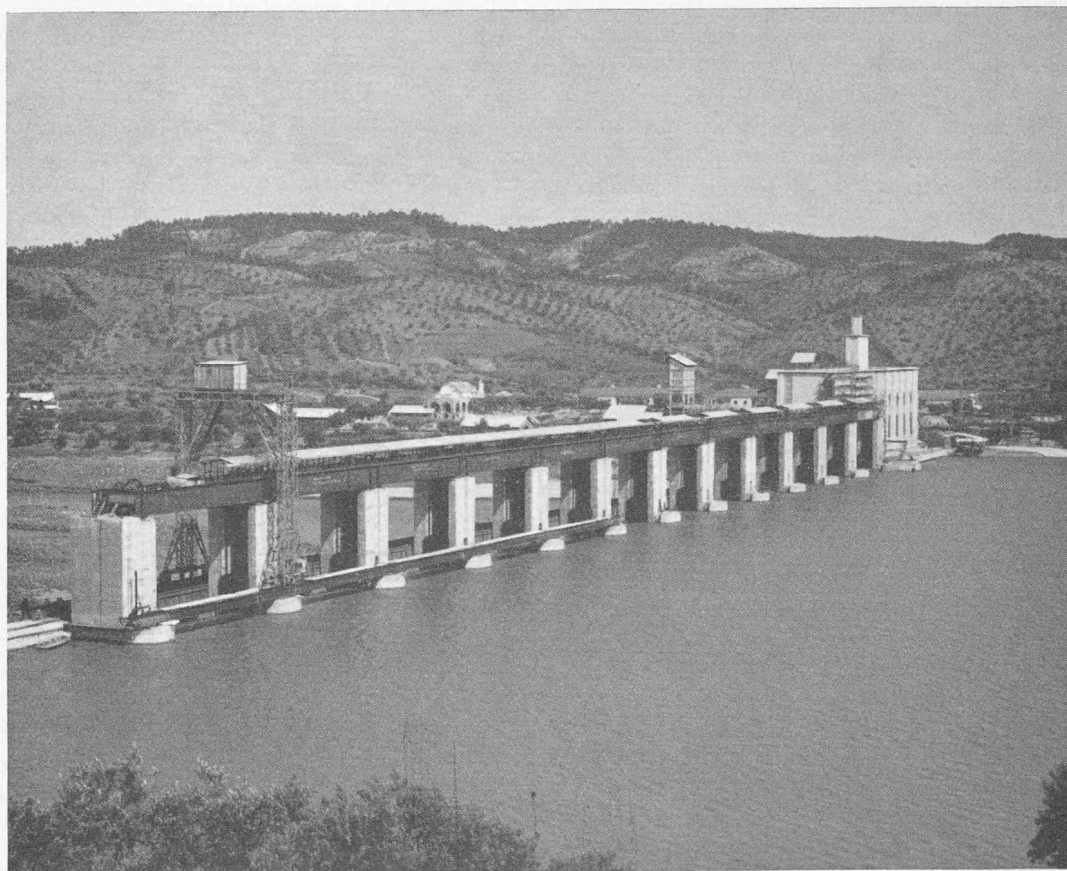


Fig. 3. — Le barrage de Belver sur le Tage.
Douze pertuis de 17 m de largeur ; vannes doubles métalliques du type wagon avec boggies, d'une hauteur totale de 14,15 m, débit de crues 18 000 m³/sec. Usine (4 × 11 000 CV).

du Tage, avaient une provenance nettement distincte. Leur odeur et des analyses chimiques montrèrent qu'il s'agissait d'une eau légèrement sulfureuse, cependant sans danger pour un béton de ciment Portland. On décida néanmoins de prendre quelques précautions : ces sources furent captées avant le bétonnage des fondations puis ces captages furent injectés de ciment une fois l'usine achevée.

Injections de ciment.

Pertes d'eau et quantités de ciment injectées.

TABLEAU 4

| | 1 ^{re} série | 2 ^e série |
|---|--|------------------------------------|
| <i>Barrage</i> | | |
| Pertes d'eau en l/min × m sous une pression de 5 kg/cm ² | 0-10 | 58% des forages |
| | 10-20 | 25% des forages |
| | > 20 | 17% des forages |
| Perte d'eau maximum | 20 l/min × m à 0 kg/cm ² | 7 l/min × m à 2 kg/cm ² |
| Absorption moyenne de ciment | 0,100 t/m | 0,080 t/m |
| Absorption maximum de ciment | 0,400 t/m | 0,180 t/m |
| <i>Usine</i> | | |
| Perte d'eau maximum | 16,4 l/min × m à 0 kg/cm ² 62,0 l/min × m à 3 kg/cm ² | — |
| Absorption moyenne de ciment | 0,260 t/m | — |
| Absorption maximum de ciment | 1,650 t/m | — |

Le barrage

Le barrage proprement dit se compose de 11 piliers intermédiaires identiques, d'une largeur de 5 m ; un long bajoyer, formant guideau, sépare le barrage de

l'usine sur la rive droite, tandis qu'un bajoyer plus court limite l'emplacement de la future écluse sur la rive gauche. Les 12 pertuis ont une largeur de 17 m et leur radier forme une cuvette destinée à détruire l'énergie cinétique de l'eau dans un ressaut hydraulique. Pour adapter le radier à la topographie du rocher sain, on a réalisé des cuvettes de trois profondeurs différentes, semblables dans leurs dimensions générales en plan. Le niveau du seuil amont est le même pour les douze pertuis, ce qui a permis de construire 12 vannes identiques. Le fond de chaque cuvette se trouve 2,50 m au-dessous du seuil aval. Chaque radier, non armé, est divisé en éléments de dimensions suffisamment restreintes pour diminuer les risques de fissuration : les joints ainsi formés n'ont toutefois pas été traités spécialement, le béton d'un nouvel élément ayant été coulé contre l'ancien, sans repiquage préalable. Pour combattre les sous-pressions, on a placé sous chaque cuvette un réseau de canalisations communiquant avec l'extérieur, de manière à assurer l'équilibre des pressions sur les faces supérieure et inférieure de la dalle. D'autre part, les joints amont et aval de la dalle du fond de la cuvette s'accrochent par un redan aux massifs plus lourds des seuils amont et aval. Pour éviter des fissures dans le sens longitudinal d'un pertuis, on a également séparé les radiers des fondations des piliers par un joint à redans.

La stabilité longitudinale et latérale des piliers, qui ont une hauteur totale de 32 à 36 m sur fondations, a été vérifiée sous l'effet de la poussée de l'eau, de la réaction d'appui des vannes et desatardeaux, du poids propre et du vent. Sur le parement amont, la compression est partout égale, sinon supérieure à la pression correspondante de l'eau. Les contraintes de compression sur les fondations sont faibles, au maxi-

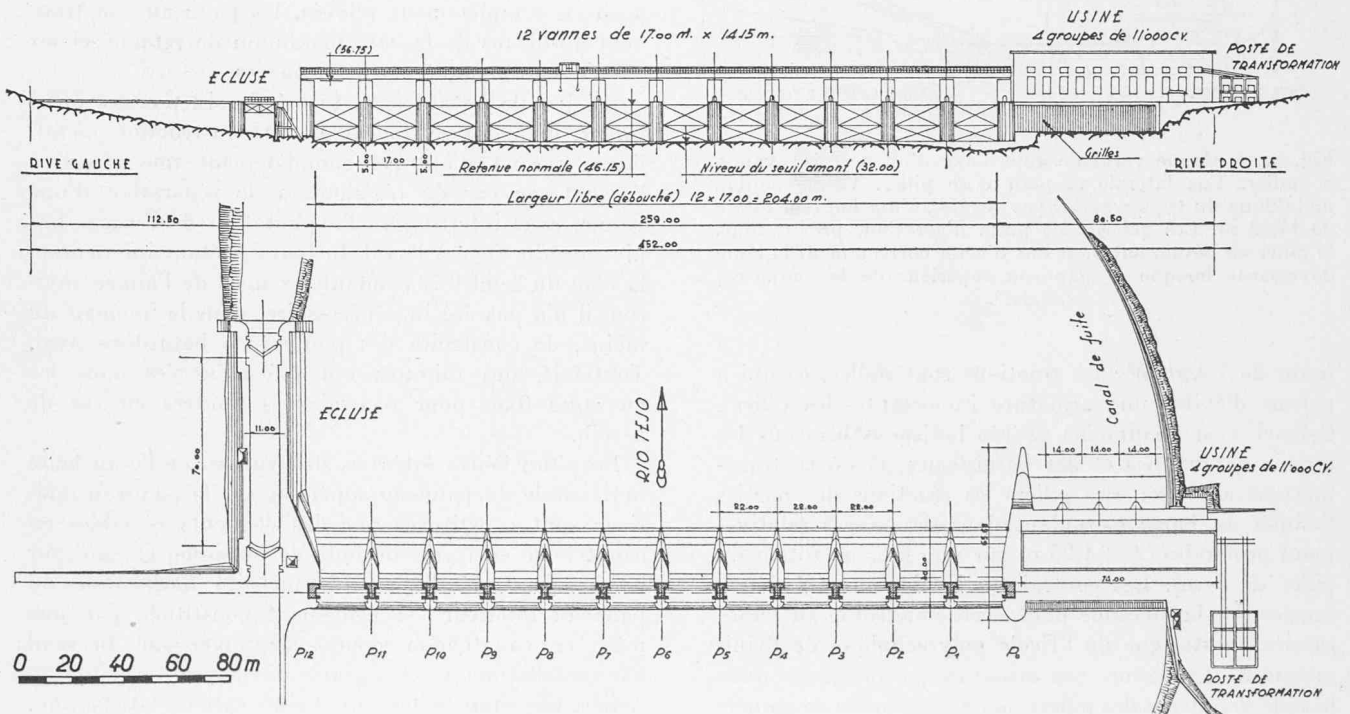


Fig. 5. — Plan d'ensemble et élévation vue d'amont.

Cliché « Technique des Travaux »

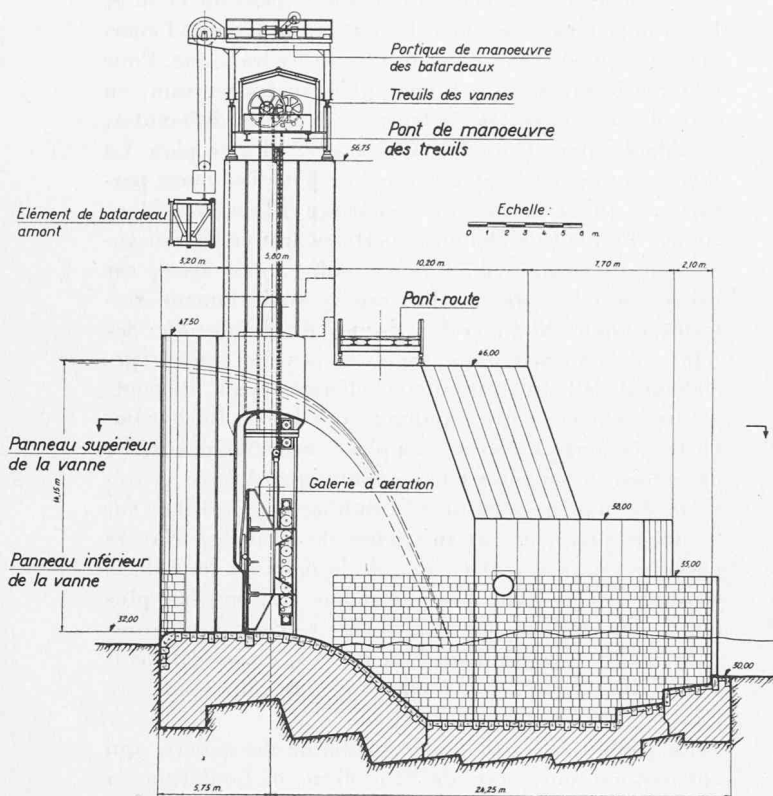
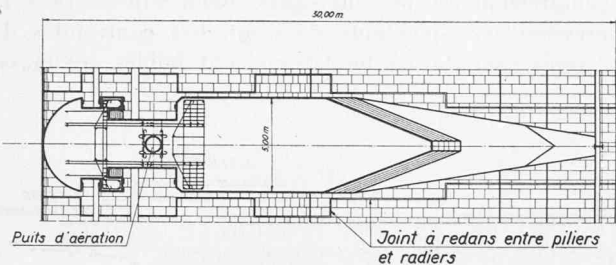
ELEVATION**PLAN**

Fig. 6. — Coupe verticale dans l'axe d'un pertuis: vanne et radier. Vue latérale et plan d'un pilier. Vanne double métallique du type wagon avec boggies, d'une hauteur totale de 14,15 m. Les galeries et puits d'aération, prévus dans le pilier en béton, ont pour but d'aérer correctement la lame déversante lorsque le panneau supérieur de la vanne est abaissé.

num de 7 kg/cm^2 ; les tractions sont nulles, ce qui a permis d'éviter une armature importante des piliers. Celle-ci s'est néanmoins avérée indispensable sous les appuis des vannes et des batardeaux, là où se transmettent au béton des piliers les réactions des parties mobiles du barrage, roulant dans des niches relativement profondes ($2 \times 1,25 \text{ m}$ sur une largeur totale du pilier de 5 m). Les contraintes locales ont été déterminées par la méthode photoélasticimétrique au Laboratoire de statique de l'École polytechnique de l'Université de Lausanne. Les armatures, concentrées dans la zone des niches des piliers, ont été groupées en paniers préfabriqués, d'un poids maximum de 270 kg et d'une hauteur de 1 m correspondant à la hauteur d'une couche

horizontale de bétonnage, et mis en place par grue. Les autres parties des piliers ne sont pas armées.

Les surfaces des radiers et les surfaces inférieures des piliers, plus particulièrement exposées à l'érosion des sables et graviers du Tage, ont été revêtues de moellons de granit, d'une épaisseur moyenne de 50 cm . Sur les radiers, les moellons ont été posés après coup, par grue et au moyen de leviers, sur un lit de béton à petits éléments. Sur les piliers, par contre, les moellons ont été posés à l'avance de manière à servir de coffrages. Le béton des piliers était dosé à 250 kg C.P./m^3 ; les agrégats avaient un diamètre maximum de 75 mm , sauf dans la partie armée des niches où ils étaient limités à 30 mm ; dans cette zone, l'augmentation de la quantité de sable et d'eau a été compensée par un dosage plus fort: 300 kg C.P./m^3 .

Les vannes du barrage mobile

Chacun des douze pertuis est fermé, en temps normal, par une vanne double métallique, du type wagon avec boggies, c'est-à-dire formée de deux panneaux plans superposés dont la hauteur totale, au-dessus du seuil fixe du barrage, est de $14,15 \text{ m}$. Le panneau supérieur porte un déversoir qui, en s'abaissant, permet d'évacuer les crues inférieures à $5000 \text{ m}^3/\text{sec}$. Ce débit n'est atteint, en moyenne, qu'une dizaine de jours par année. Pour l'évacuation des petits débits jusqu'à des crues de $5000 \text{ m}^3/\text{sec}$, les panneaux supérieurs de toutes les vannes sont abaissés progressivement l'un après l'autre de manière que l'eau passe par-dessus les déversoirs sans provoquer de surélévation du niveau normal de retenue. Lorsque ces panneaux sont abaissés de cinq mètres, ils atteignent leur position limite inférieure et reposent sur les panneaux inférieurs. Si le débit à évacuer continue à augmenter, les panneaux inférieurs et supérieurs sont relevés simultanément de manière à permettre l'écoulement de l'eau sous les vannes. En position complètement relevée, les panneaux se trouvent au-dessus de la cote maximum de retenue et les passes sont complètement dégagées.

Un jeu de batardeaux, formé de six poutres identiques, donc interchangeables, en construction métallique, permet d'obtenir complètement une passe, à l'amont, en cas de révision ou de réparation d'une vanne, sans interrompre l'exploitation de l'usine. Les niveaux du Tage à l'aval du barrage étant inférieurs à la cote du seuil fixe pendant six mois de l'année environ, il n'a pas été jugé nécessaire, pour le moment du moins, de construire des poutres de batardeau aval. Toutefois, des rainures ont été ménagées dans les ouvrages fixes pour recevoir ces poutres en cas de besoin.

Les étanchéités latérales des vannes et l'étanchéité horizontale du panneau supérieur sur le panneau inférieur sont constituées par des éléments réglables en caoutchouc en forme de note de musique, glissant sur une surface métallique. L'étanchéité horizontale du panneau inférieur est également constituée par une pièce en caoutchouc venant s'appuyer sur un seuil fixe métallique interchangeable, scellé dans le béton du radier. Ces étanchéités ont donné entière satisfaction. Quoiqu'il n'ait pas été possible, jusqu'à présent, de mesurer les pertes d'eau entre les vannes et les pièces

fixes, on peut néanmoins estimer qu'elles n'ont pas dépassé le débit de 2,4 m³/sec (pour l'ensemble du barrage) fixé dans le contrat de fourniture des vannes. L'expérience a montré que l'efficacité des étanchéités dépend d'une part de la possibilité de les régler très soigneusement au cours du montage des vannes, et d'autre part de la qualité du caoutchouc utilisé. L'étanchéité entre les éléments de batardeau est assurée par des poutres en bois dur, dans lesquelles est encastrée une petite lame de caoutchouc.

Un pont de manœuvre métallique, portant les treuils et moteurs électriques des vannes, prend appui sur la partie supérieure des piliers du barrage. Il est formé de travées indépendantes et ne contribue pas à la stabilité des piliers, suffisamment assurée par leur poids propre. Cette disposition a permis de rendre le programme de construction du barrage, et en particulier la dérivation du Tage dans certaines passes, indépendants du montage du pont de manœuvre. Il se pourrait néanmoins que dans d'autres cas une telle liaison soit opportune

ou même désirable. Les appareils de manœuvre des vannes sont protégés par une cabine couvrant toute la longueur du pont. Un portique, roulant sur les poutres principales, sert à la mise en place des batardeaux du barrage, au moyen d'un palonnier capable également de repêcher les éléments sous l'eau.

Chaque vanne (un panneau supérieur et un panneau inférieur) est actionnée par un seul moteur électrique de 25 CV, accouplé à deux treuils synchronisés, un à chaque extrémité du pertuis. Les vannes sont suspendues par des chaînes Galle, le panneau supérieur par l'un des brins de la chaîne, le panneau inférieur par l'autre brin, mouflé. Cet artifice permet d'utiliser le même treuil pour les deux panneaux, le supérieur étant abaissé jusqu'à fin de course, c'est-à-dire jusqu'à ce qu'il s'appuie sur le panneau inférieur, puis les deux étant levés ensemble, sans modification du sens de rotation du moteur et des treuils. Cette disposition, plus économique que l'installation de treuils indépendants pour les deux panneaux, évite que par suite d'une

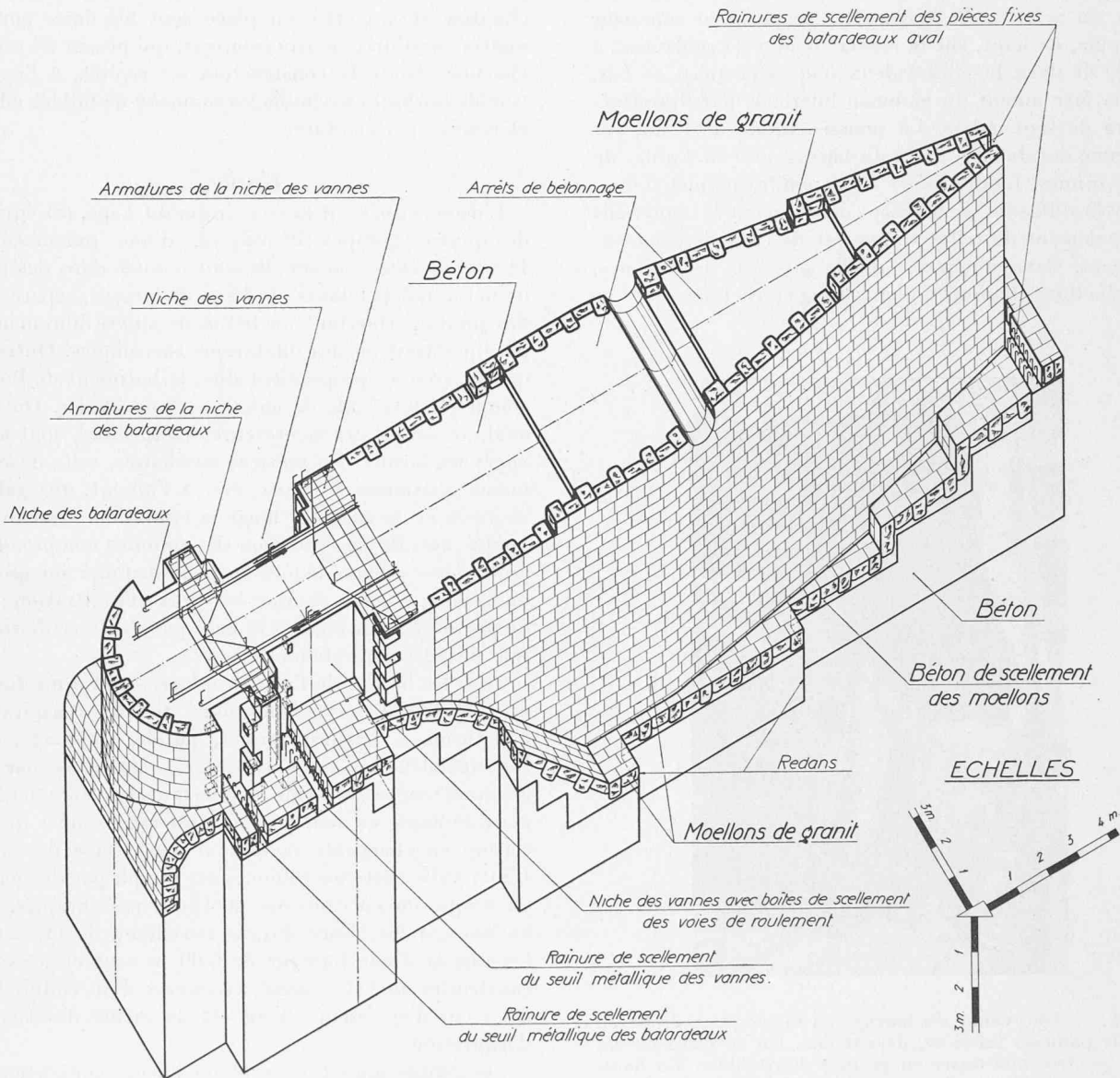


Fig. 7. — Vue perspective d'un pilier en construction.

fausse manœuvre, ou d'inobservation de la consigne, on évacue systématiquement les crues en commençant par ouvrir le panneau inférieur ce qui risquerait à la longue d'affouiller le lit à l'aval du barrage. Elle ne permet, par contre, pas de lever de temps en temps le panneau inférieur seul, pour les chasses ; cet inconvénient s'est révélé sans importance, en regard de la sécurité de fonctionnement et de l'économie obtenues par ailleurs.

La vitesse de manœuvre des vannes, avec moteur électrique, est de 0,40 m/minute pour le panneau supérieur, et de 0,20 m/minute, lorsque les deux panneaux sont manœuvrés ensemble. En cas de panne de courant, les vannes peuvent être actionnées par huit hommes, à l'aide de manivelles, à la vitesse de 0,50 m par heure environ. Un curseur, placé à proximité de chaque moteur, indique au mécanicien la position de chaque panneau.

Le panneau inférieur, qui est aussi le plus chargé, transmet la poussée de l'eau aux deux piliers en béton adjacents par quatre boggies articulés, de quatre roues chacun. Les seize roues en acier coulé circulent sur des rails, en acier coulé également. Le panneau supérieur s'appuie, en haut, sur le même chemin de roulement à l'aide de deux boggies à deux roues chacun et en bas, sur la face amont du panneau inférieur, par l'intermédiaire de sept galets. La poussée totale de l'eau, sur chacune des douze vannes du barrage, est de l'ordre de 1700 tonnes. L'importance de ce chiffre permet d'imaginer la difficulté de réaliser correctement les appareils de roulement de telles vannes, et de répartir convenablement, dans n'importe quelle position des vannes, les réactions d'appui d'une telle construction.

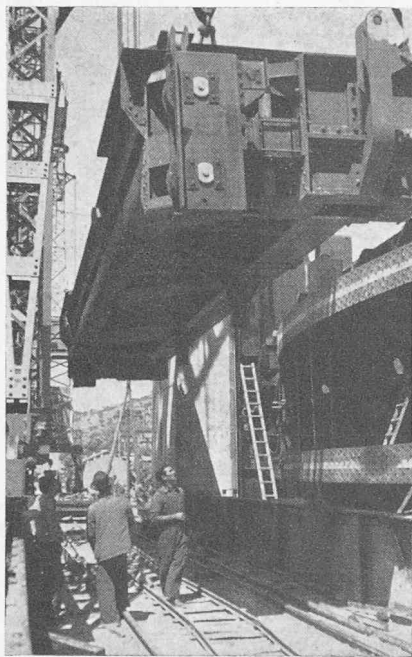


Fig. 8. — Une vanne du barrage en montage. A droite en bas, le panneau inférieur, déjà monté. On en distingue les deux poutres maîtresses en position horizontale. En haut, la poutre maîtresse du panneau supérieur, suspendue à deux portiques de montage (non visibles), quelques instants avant d'être placée dans sa position définitive.

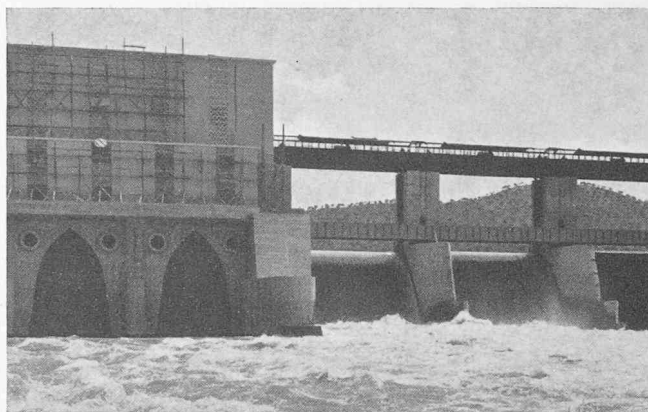


Fig. 9. — Aile droite du barrage à vannes, usine et canal de fuite. Seuls les panneaux supérieurs sont abaissés.

Le poids total des vannes métalliques du barrage et de leurs accessoires tels que treuils, rails et pont de manœuvre, atteint, en chiffre rond, 3800 tonnes. Les pièces les plus lourdes à transporter de l'usine au chantier et à mettre en place sont les deux poutres maîtresses d'un panneau inférieur, qui pèsent 28 tonnes chacune. Toute la construction est rivetée, à l'exception de quelques assemblages soumis à de faibles efforts et réalisés par soudure.

L'usine

L'usine, située sur la rive droite du Tage, est équipée de quatre groupes identiques, d'une puissance de 11 000 chevaux chacun. Ils sont montés dans des plots de béton indépendants, de 14 m de largeur, séparés par des joints permettant au béton de suivre librement le jeu du retrait ou des dilatations thermiques. Outre les quatre groupes proprement dits, le bâtiment de l'usine comprend une halle de montage et un atelier. Du côté aval, au-dessus des aspirateurs des turbines, sont aménagés les locaux des services auxiliaires, salle de commande, batteries, bureaux, etc. A l'amont, une galerie de visite et de drainage longe la fondation. Chacun des quatre massifs de fondation des groupes comprend un puits vertical dans lequel on peut installer un groupe moto-pompe pour épuiser les eaux d'infiltration ; les quatre puits sont reliés à la base par une buse horizontale de 50 cm de diamètre.

Tous les bétons de l'usine sont armés et d'un dosage de 300 kg C.P./m³ : fondations, tuyaux d'aspiration des turbines, bâches spirales, parois, sommiers, etc. La superstructure du bâtiment est constituée par des colonnes en béton armé supportant les sommiers du pont roulant, en béton armé également, ainsi que la toiture en charpente métallique recouverte de tuiles. L'intervalle entre les colonnes est rempli par des parois en brique ou en éléments de béton préfabriqués. Les bâches spirales, d'une largeur maximum de 11,50 m à l'entrée et d'une hauteur de 6,00 m sont entièrement construites en béton armé, recouvert d'un enduit lissé de 3 cm d'épaisseur. Il en est de même des tuyaux d'aspiration.

Les parois amont et aval de l'usine supportent la pression extérieure de l'eau qui, lors des crues exceptionnelles, peut dépasser légèrement le niveau du

plancher des alternateurs. Les joints entre massifs de fondation des groupes sont rendus étanches à l'amont et à l'aval au moyen du dispositif classique de la feuille de cuivre en forme de U et d'une clavette de bitume.

L'équipement électro-mécanique de l'usine

Du fait que l'usine de Belver est entièrement dépendante du régime naturel du Tage, on a été amené à choisir des turbines du type Kaplan. Les quatre tur-

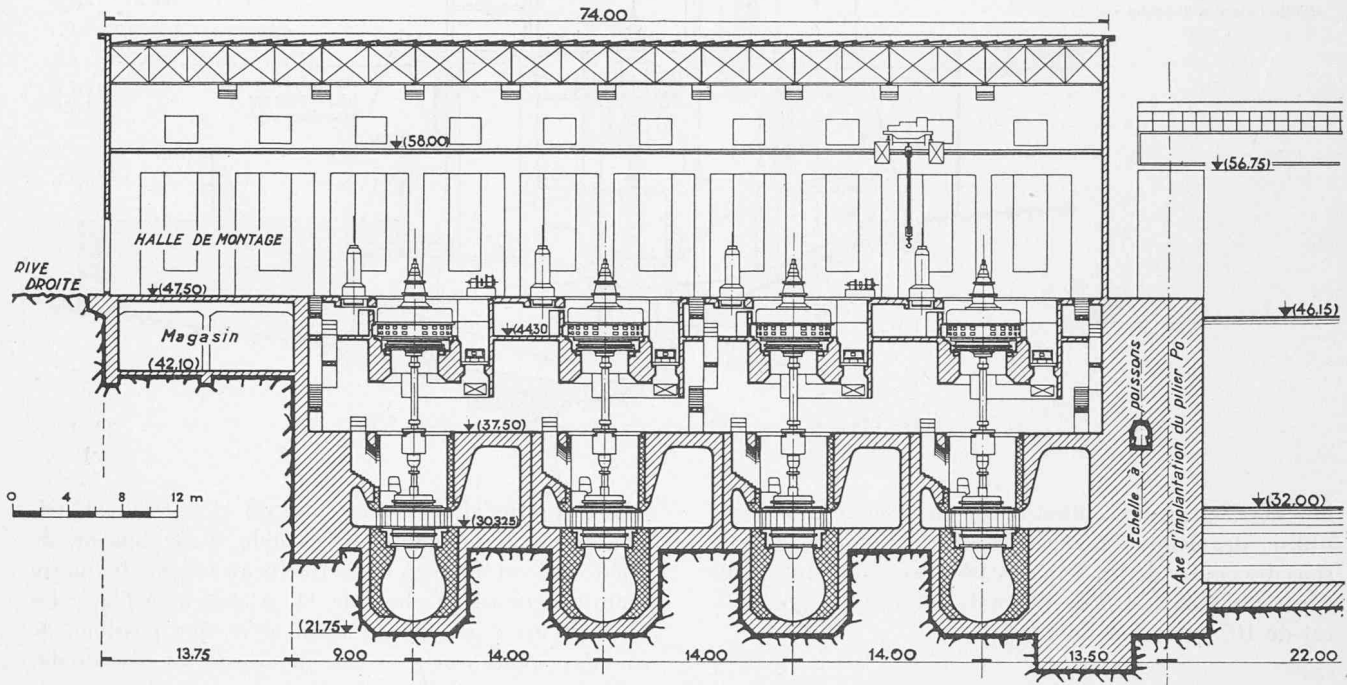


Fig. 10. — Usine. Coupe verticale dans l'axe des turbines.

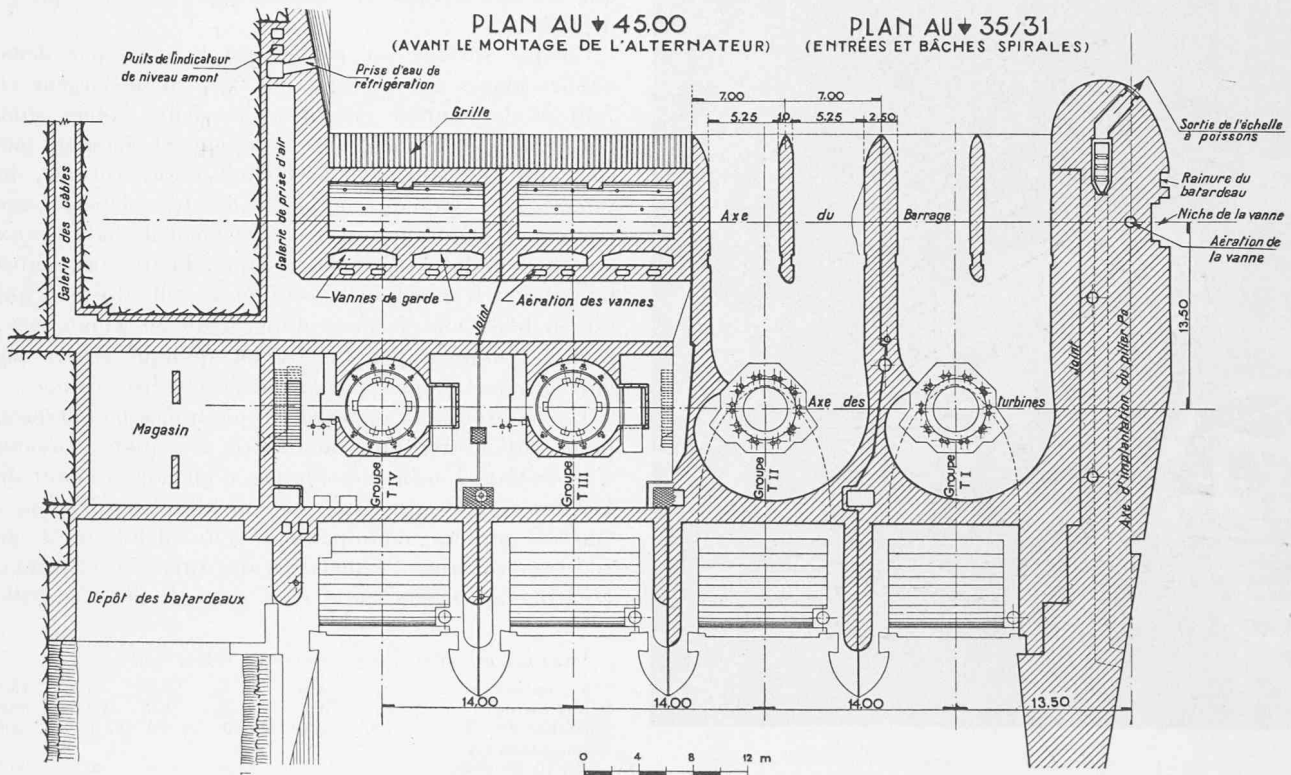
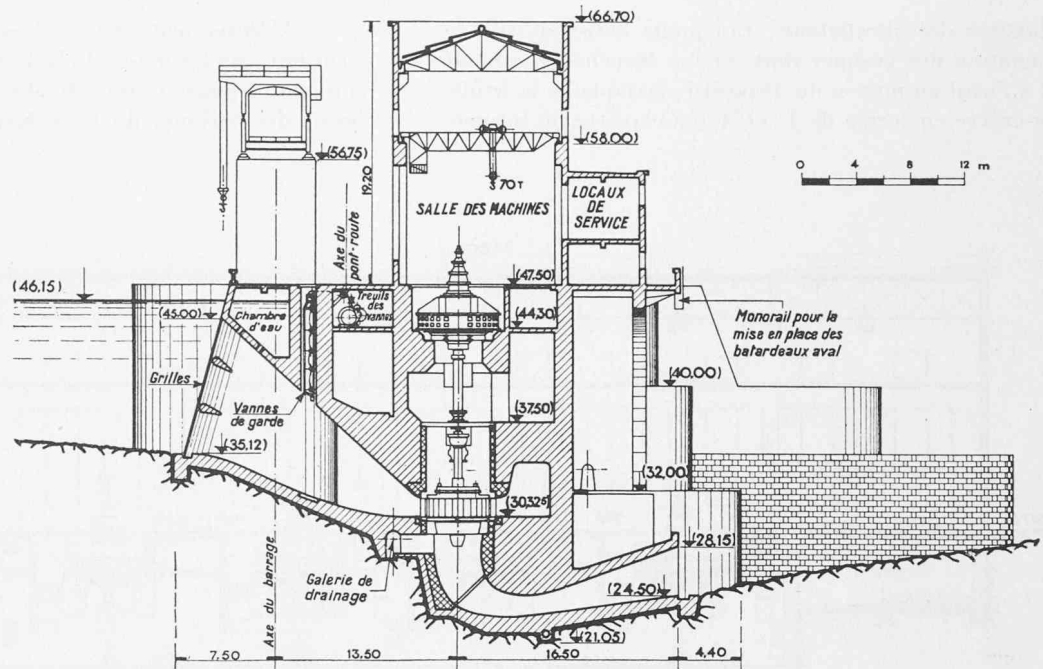


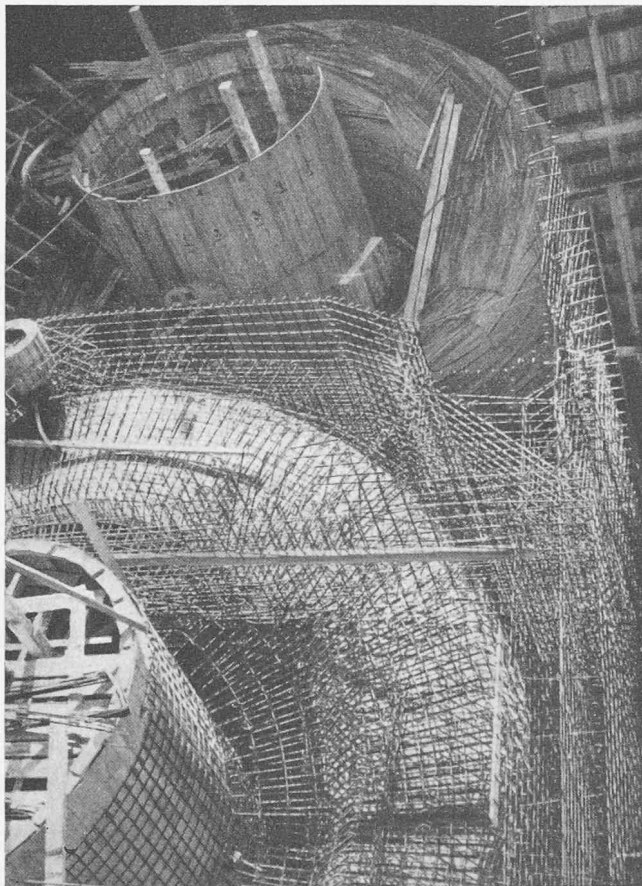
Fig. 11. — Usine. Coupes horizontales.

Fig. 12. — Usine.
Coupe verticale dans
l'axe d'un groupe.

Cliché
« Technique des Travaux ».



bines de Belver, travaillant seules ou ensemble, peuvent utiliser des débits du Tage variant de 30 à 300 m³/sec, sous des chutes de 15,50 m à 10,00 m avec un rendement supérieur à 88 %¹. La vitesse de rotation des groupes est de 167 tours par minute.



Cliché « Technique des Travaux »

Fig. 13. — Coffrage et ferrailage d'une bache spirale de l'usine.

Les quatre alternateurs sont du type vertical, triphasés, à 50 périodes par seconde. Leur tension de 6350 volts est élevée à 60 000 volts au moyen de quatre transformateurs en plein air. On a cherché à placer les alternateurs à un niveau aussi élevé que possible, de manière qu'ils soient situés en dessus du niveau des crues courantes du Tage. La hauteur totale d'un groupe est ainsi de 22,50 m et son poids de 250 tonnes environ. Le pivot, monté sur l'alternateur, supporte une charge de 265 tonnes. Seuls les régulateurs et les excitatrices dépassent le niveau du plancher supérieur de l'usine, ce qui donne à la salle des machines une allure simple et dégagée.

Chaque turbine est protégée à l'amont par deux vannes planes automatiques de 5,25 m de largeur et 7,40 m de hauteur chacune. Ces deux vannes sont déclenchées et fermées automatiquement, lorsque, par suite de l'emballement accidentel d'une turbine, la vitesse de l'eau dans la bache d'entrée dépasse une certaine valeur. Elles servent également de batardeaux amont pour la révision des groupes. Leurs étanchéités latérales et frontale, à l'exception de celle du seuil qui est en bois, sont formées d'un tuyau en caoutchouc, raidi à l'intérieur par une tige et appliqué contre des glissières métalliques par la pression hydrostatique.

Un batardeau aval, formé de poutrelles métalliques, permet d'obtenir l'un ou l'autre des quatre tuyaux d'aspiration. L'usine est équipée d'un pont roulant de 11,60 m de portée et d'une force de levage de 70 tonnes. Quatre groupes moto-pompes d'un débit total de 160 l/sec assurent l'évacuation des eaux d'infiltration. L'entrée des baches spirales est protégée par une grille

¹ Les caractéristiques des turbines de Belver sont :

| | | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Chute en mètres .. | 8,0 | 10,0 | 11,9 | 13,0 | 15,0 | 15,5 |
| Débits en m ³ /sec . | 69,8 | 76,6 | 81,7 | 71,0 | 60,8 | 58,9 |
| Puissance en CV . | 6 100 | 8 600 | 11 000 | 11 000 | 11 000 | 11 000 |
| Rendements en % | | | | | | |
| 10/10 de charge | 82 | 84,2 | 85,5 | 89,5 | 90,5 | 90,5 |
| 9/10 de charge | 85,5 | 88 | 89 | 90,5 | 90,3 | 90,2 |
| 5/10 de charge | 85,5 | 88,7 | 89,5 | 89 | 88 | 88 |

métallique dont les barreaux sont espacés de 58 mm (espace libre). Lors de la mise en service de l'usine, le montage du dégrilleur mécanique n'était pas achevé. Malgré l'absence de feuilles et un dégrillage manuel ininterrompu, on a noté quelques perturbations dues au colmatage de la grille par un mélange de vase et de détrit. L'expérience démontre la nécessité d'un dégrilleur mécanique, même sur un fleuve traversant des régions très peu boisées.

L'écluse

La navigation sur le Tage n'atteint pas, pour le moment, une très grande importance, dans la région de Belver. Elle y est même pratiquement impossible pendant certaines périodes de l'année. Par contre, la navigation fluviale est intense sur l'estuaire du fleuve jusqu'à une centaine de kilomètres en amont de Lisbonne, et la construction des barrages de Belver et de Fratel, ainsi que l'aménagement du cours supérieur du Tage permettent d'envisager dans un proche avenir l'extension de la navigation dont les limites seront portées beaucoup plus à l'intérieur du pays, voire même jusqu'en Espagne. C'est la raison pour laquelle on a pris, à Belver, toutes les dispositions nécessaires pour pouvoir construire plus tard, pratiquement sans interrompre l'exploitation de l'usine, une écluse de 11 m de largeur.

Echelle à poissons

Comme tous les barrages en rivière de cette importance, celui de Belver est muni d'une échelle à poissons composée d'une série de bassins en cascade aménagés à l'intérieur du bajoyer qui sépare le barrage de l'usine.

Exécution des travaux

L'année 1947 fut consacrée à l'installation du chantier et à l'exécution des premières excavations. Les bétonnages importants ont été faits de 1948 à 1950; le montage des vannes, commencé au printemps 1950, fut achevé en octobre 1951. Deux groupes de l'usine ont été soumis aux premiers essais à la fin de 1951 et les deux autres ont été mis en service au début de 1952.

Le but de cet exposé n'étant pas de décrire les travaux ni d'en relater les différentes phases¹, nous nous bornerons à signaler les caractéristiques les plus importantes de ce chantier. Le volume total des excavations

¹ On trouvera une très intéressante description des travaux dans le numéro de mai-juin 1952 de la *Technique des Travaux*: Le barrage et l'usine hydroélectrique de Belver sur le Tage, de M. le Dr Ing. R. di Bella.

est de l'ordre de 130 000 m³, dont 100 000 m³ en rocher. Le volume de béton en fondation et élévation, y compris le béton armé, est de 95 000 m³, dont 5000 pour les ouvrages provisoires. Les moellons de revêtement de granit représentent 12 500 m² et les fers à béton, de tous diamètres, atteignent le poids de 1500 tonnes. Les surfaces coffrées, y compris les arrêts de bétonnage, mesurent 90 000 m² et les enduits au ciment des bâches spirales et diffuseurs 8000 m².

Les installations de chantier étaient réparties sur les deux rives du Tage: installations d'air comprimé, appareils de triage des sables et graviers, bétonnières. Le chantier de stockage et montage des vannes du barrage se trouvait sur la rive droite, desservie par un embranchement de la voie du chemin de fer. Quant à la rive gauche, elle était desservie par une route.

Les problèmes hydrauliques

Les trois problèmes importants qui se sont posés, à Belver, au point de vue hydraulique, et qui se posent en général pour tous les barrages de cette espèce sont les suivants:

Le débouché. C'est-à-dire le choix des dimensions principales du barrage permettant d'évacuer un débit maximum donné. Ce problème peut être résolu approximativement par le calcul. Mais pour un barrage mobile aussi important que celui de Belver, où l'exactitude des résultats conduit à de grandes économies dans la construction des ouvrages, ce n'est que par des essais sur modèle réduit que l'on peut obtenir un résultat satisfaisant.

Le profil en long des radiers du barrage. C'est le problème de la destruction de l'énergie du fleuve pendant les crues, c'est-à-dire lorsque cette énergie ne peut pas être utilisée entièrement par les turbines et que le débit supplémentaire est réparti uniformément sur toute la longueur du barrage. La profondeur des cuvettes des radiers peut être calculée, mais leur longueur et leur forme ne peuvent être déterminées correctement que par des essais sur modèle réduit.

La consigne de manœuvre des vannes. C'est la recherche d'un règlement de manœuvre des vannes qui, tout en étant simple pour les besoins de l'exploitation, permet de répartir les débits aussi régulièrement que possible le long du barrage de manière à garantir un minimum d'érosion à l'aval.

Les essais décrits dans les chapitres qui suivent ont été réalisés au *Laboratoire d'hydraulique de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne*.

(A suivre)

FORMATION ET ORGANISATION PROFESSIONNELLES

La formation technique de l'ingénieur-chimiste moderne

Lors du XXIV^e Congrès international de chimie industrielle, à Paris, en 1951, M. Maurice Lefort, professeur à la Faculté des sciences de Nancy, donna sous ce titre

une conférence fort remarquable, que publia intégralement la Revue générale des sciences, nos 3-4, 1952. L'actualité du sujet nous engage à en donner ici quelques extraits et à recommander vivement à nos lecteurs de prendre connaissance du texte intégral à la revue précitée. (Réd.)

... Cette importance du laboratoire ne doit pas conduire cependant à l'erreur de croire que la profession d'ingénieur-chimiste soit encore essentiellement d'exercice manuel. Si les buts n'ont pas changé, les moyens d'accès se sont considérablement enrichis et les méthodes