Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 75 (1949)
Heft: 9

Artikel: Les barrages de la Società adriaticà d'elettricità en Vénétie
Autor: Semenza, C.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-56863

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

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

75e année 23 avril 1949 No 9

BULLETIN TECHNIQUE
DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ABONNEMENTS :
Suisse : 1 an, 20 francs
Etranger : 25 francs
Pour sociétaires :
Suisse : 1 an, 17 francs
Etranger : 22 francs
Pour les abonnements s'adresser à la librairie
F. ROUGE & Cie
à Lausanne
Prix du numéro :
1 Fr. 25

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. EPITAUX, architecte, à Lausanne ; secrétaire : J. CALAME, ingénieur, à Genève. Membres : *Fribourg :* MM. † L. HERTLING, architecte ; P. JOYE, professeur ; *Vaud :* MM. F. CHENAUX, ingénieur ; E. D'OKOLSKI, architecte ; A. PARIS, ingénieur ; CH. THÉVENAZ, architecte ; *Genève :* MM. L. ARCHINARD, ingénieur ; E. MARTIN, architecte ; E. ODIER, architecte ; *Neuchâtel :* MM. J. BÉGUIN, architecte ; G. FURTER, ingénieur ; R. GUYE, ingénieur ; *Valais :* MM. J. DUBUIS, ingénieur ; D. BURGENER, architecte.

Rédaction : D. BONNARD, ingénieur. Case postale Chauderon 475, LAUSANNE

TARIF DES ANNONCES
Le millimètre
larg. 47 mm.) 20 cts.
Réclames : 60 cts. le mm.
(largeur 95 mm.)
Rabais pour annonces répétées
ANNONCES SUISSES S.A.
5, Rue Centrale
Tél. 2 33 26
LAUSANNE
et Succursales

CONSEIL D'ADMINISTRATION DE LA SOCIÉTÉ ANONYME DU BULLETIN TECHNIQUE
A. STUCKY, ingénieur, président ; M. BRIDEL ; G. EPITAUX, architecte ; R. NEESER, ingénieur.

SOMMAIRE : *Les barrages de la Società Adriatica d'Elettricità en Vénétie*, par M. C. Semenza, Venise. — *Accumulation de l'Hongrin avec usine hydroélectrique à Veytaux*, par Ch. Paschoud, Lausanne. — Bibliographie. — Service de placement.

Les barrages de la Società Adriatica d'Elettricità en Vénétie

par M. C. SEMENZA, directeur des Constructions hydrauliques de la « Stà Adriatica di Elettricità », à Venise [1]

En Italie, pendant ces huit dernières années, qui comprennent la période de la guerre et de l'après-guerre (exception faite des deux à trois années les plus critiques), beaucoup d'aménagements hydroélectriques ont été achevés, bien qu'il ait fallu surmonter de grands obstacles créés par la situation générale ; d'autres sont en état de construction avancée, d'autres encore n'en sont qu'à leurs débuts. Les projets inscrits aux programmes en voie de réalisation permettront de faire passer la production totale d'énergie électrique en Italie de 22 milliards de kWh en 1947 à environ 30 milliards en l'espace de quatre ans ; ce chiffre pouvant par la suite atteindre 36 à 37 milliards dans un délai relativement court. La « Società Adriatica d'Elettricità » s'inscrit pour une part importante dans cet accroissement de la production.

Comme on peut bien le penser, les difficultés, et surtout les difficultés financières, sont très grandes chez nous, parfois presque insurmontables. Et pourtant on travaille avec enthousiasme et ténacité.

A ce sujet, il ne faut pas oublier que notre législation sur les concessions a sans doute favorisé l'essor des constructions hydroélectriques, grâce à son esprit entièrement dirigé vers l'utilité publique bien que respectant la propriété individuelle.

Le problème des barrages est peut-être, au point de vue technique, le plus important de ceux que posent les aménagements de chutes d'eau. En Italie, ce problème est posé avec la précise volonté de réaliser des progrès mûrement acquis ; et nous estimons qu'il faut porter à la connaissance de tous les techniciens de votre pays la substance de ce progrès. A vrai dire, pendant les années qui ont suivi la guerre, il y eut de fréquents échanges de visites entre les techniciens suisses et italiens, sur leurs chantiers respectifs, visites qui sont, à notre avis, non seulement agréables et sympathiques, mais aussi d'une grande utilité et d'un intérêt certain pour le travail commun et pour le développement général de la technique. Malheureusement il ne s'agissait que de quelques personnes, alors qu'une connaissance plus étendue ne pourrait que favoriser ce progrès technique.

Nous avons sincèrement admiré, lors de nos voyages, les efforts que vous avez faits et vos résultats, et vous souhaitons d'avoir un dynamisme de plus en plus grand dans les constructions hydroélectriques.

De notre côté, nous avons été extrêmement heureux des visites de vos éminents techniciens et sommes toujours satisfaits de toutes leurs observations et leurs critiques parce que — et c'est mon opinion personnelle — c'est grâce aux critiques et aux objections que la collaboration technique devient la plus efficace et que le progrès général peut le mieux se réaliser.

J'ai souvent dit que nous devrions, nous qui avons fait un projet ou qui l'avons mis à exécution, faire un examen de conscience à la fin de chaque travail et nous poser à nouveau tous les problèmes résolus pour voir si nous les résoudrions encore de la même manière. Cet examen devrait être publié, parce que l'on arrive très bien, techniquement parlant, à s'approcher de la perfection grâce aux erreurs, et non grâce aux succès seulement.

Depuis vingt ans environ je suis le principal responsable des nouvelles constructions hydroélectriques et, plus précisément, de l'élaboration générale des projets et de l'exécution des travaux hydrauliques — partie génie civil — de la « Società

[1] Conférence donnée à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, le 20. I. 49, et à Zurich, le 22. I. 49. (Réd.).

Adriatica di Elettricità », qui distribue chaque année environ 2 milliards de kWh dans quinze provinces qui comprennent toute la Vénétie, la Vénétie Julienne, Bologne et la Romagne jusqu'à Rimini.

Je vous parlerai donc tout particulièrement des barrages les plus récents que ma Société a projetés et construits sous ma direction. Permettez-moi cependant de faire précéder la description détaillée de ces ouvrages d'un bref aperçu général sur l'état de la technique des barrages en Italie, et de quelques considérations à ce sujet.

* * *

Il faut d'abord que vous ayez à l'esprit deux notions fondamentales : premièrement, quand la technique fait dépenser un seul centime de plus que nécessaire pour le résultat qu'elle veut atteindre, tout en tenant toujours compte de la sécurité, c'est une pauvre technique ; secondement, l'Italie est un pays dont les ressources sont limitées, et qui ne peut se permettre, ou tout au moins ne devrait se permettre, aucun luxe. Je crois même pouvoir affirmer, en confirmant ce que j'ai dit précédemment, qu'aucun pays du monde ne devrait se le permettre.

En relation avec ces notions, les barrages-poids perdent de plus en plus, en Italie, la faveur des techniciens parce que peu économiques ; on tend donc à limiter leur construction aux seuls cas où un autre type de barrage ne serait techniquement pas réalisable. On choisira en général des types de barrages d'un volume plus faible qui sont basés sur des études plus poussées et qui correspondent à certaines nécessités économiques : là où c'est possible, des barrages-voûte ou maintenant aussi des barrages poids-voûte, et dans les endroits où la situation morphologique impose un barrage-poids, mais où les conditions de fondation le permettent, des barrages évidés.

Ces dernières années on est aussi revenu aux digues en terre et en enrochement, en les construisant partout où il a été prouvé qu'elles étaient plus économiques que d'autres types de barrages et aussi, naturellement, chaque fois que le terrain de fondation excluait un barrage en maçonnerie.

En général, chez nous, le type de barrage sera choisi par celui qui le projette et approuvé par le gouvernement sur la base de considérations techniques seulement. En effet, avant et durant la dernière guerre, aucun obstacle de principe ne s'opposait de la part des autorités militaires à l'adoption des types de barrages que j'ai indiqués plus haut, comme d'ailleurs aucun obstacle ne s'y oppose actuellement. Les autorités militaires qui, en général, comprennent fort bien et d'une façon pratique la nécessité de produire de l'énergie accumulable — problème extrêmement important en temps de guerre comme en temps de paix — se contentent d'arrêter certaines ordonnances pour assurer, dans chaque cas séparément, l'abaissement rapide du niveau de retenue. Par conséquent, elles se contentent d'approuver les caractéristiques des organes de vidange après les avoir étudiés en accord avec le Ministère des travaux publics et le concessionnaire.

En général, il est prescrit que l'on doit pouvoir baisser le niveau de la retenue, s'il est nécessaire, en vingt-quatre heures ou dans un bref délai, jusqu'à la cote à laquelle correspond une épaisseur de 8 à 10 m pour un barrage-poids.

Ce qui est arrivé pendant la guerre a du reste prouvé le bien-fondé de cette disposition. Aucun dégât important n'a été causé à des barrages italiens. D'ailleurs on peut dire qu'aucun ouvrage faisant partie d'un aménagement hydro-électrique n'a été l'objet d'une attaque dirigée contre lui seul. Il n'y a eu que quelques destructions sur la ligne de feu, d'autres causées par des troupes en retraite. Dans cet ordre d'idées, quelques barrages en rivière ont subi des dégâts.

En Allemagne, les barrage-poids sur la Möhne et sur l'Eder, légèrement arqués, ont subi de très graves dégâts, mais il n'a pas été prouvé que des barrages d'autre type auraient subi des dégâts plus graves s'ils avaient été soumis à une action semblable. Au contraire, tout laisse supposer que les barrages poids-voûte, les barrages voûte, ou mieux encore, en forme de dôme, sont plus aptes à essuyer des attaques de caractère militaire sans subir des dégâts considérables, grâce à leur faculté de supporter des efforts longitudinaux très élevés, vu leur plus grande déformabilité intérieure et leur capacité de réagir dans l'espace.

J'ai parlé, il y a un instant, de l'approbation de l'Etat ; je manquerais à un devoir élémentaire si j'oubliais de dire qu'en Italie le Service des barrages, qui dépend directement du Conseil supérieur des travaux publics, et qui a la compétence d'approuver les projets et d'en contrôler la construction, a hautement mérité de la technique dans le domaine particulier des barrages.

Ce service est pratiquement constitué par deux ingénieurs tout à fait compétents qui non seulement ont suivi les progrès de la technique, mais qui les ont prudemment encouragés et guidés par leur appui constant et par leurs conseils, sans bureaucratie, ce qui a permis de surmonter toutes les difficultés.

Le progrès, dans la conception des projets, a naturellement été soutenu par un complexe d'études analytiques et expérimentales que je juge bon de vous présenter brièvement.

Plusieurs d'entre vous ont pris connaissance probablement des articles parus ces dernières années dans les revues techniques italiennes au sujet des barrages évidés et des barrages arqués.

Le calcul analytique est toujours capital et nécessaire et c'est sur lui qui se basent les projets. Notre règlement sur les barrages est particulièrement précis sur ce point-là. Je crois que cela pourra vous intéresser de savoir, en passant, qu'il va être encore amélioré sur la base des recommandations d'une commission d'experts choisis dans tous les milieux intéressés, de l'Etat aux grandes sociétés de construction, des théoriciens aux entrepreneurs ; cette commission est au travail depuis quelques mois, elle terminera prochainement ses travaux. Les résultats acquis sont déjà très intéressants.

Mais, à côté de ces études théoriques, de nouvelles recherches sur modèles réduits ont été entreprises ces dernières années en Italie, avec un soin tout particulier ; et il est bon de le relever. Tous les plus grands barrages-voûte construits depuis dix ans et quelques barrages évidés ont été soumis à des essais sur modèle au Laboratoire du Polytechnicum de Milan qui est bien outillé pour ces travaux. Un nouvel institut important, équipé d'installations spéciales pour l'essai de grands modèles est actuellement en construction à Bergame. Son centre est le bassin d'essai du barrage du Piave, construit par l'Adriatica, dont je vous parlerai plus tard.

Permettez-moi de dire tout simplement mon opinion personnelle sur le mérite qu'ont ces essais. J'ai le plus grand respect pour le calcul parce que nous ne pouvons pas évidemment ne pas avoir un esprit mathématique et parce que notre formation de techniciens est basée, pour notre bien, sur l'analyse. Mais nous devons reconnaître en même temps que, dans toutes les constructions, et en particulier dans la construction de barrages, beaucoup d'éléments ne peuvent être déterminés de façon précise, ce qui rend la recherche expé-

rimentale nécessaire pour que l'on puisse confirmer au moins la direction des efforts et la répartition des contraintes et obtenir une vision claire du comportement réel de l'ouvrage au point de vue statique.

Une détermination quantitative exacte ne peut évidemment pas être demandée au calcul, ni au modèle ; mais l'amélioration constante des deux méthodes de recherches et les contrôles progressifs que l'on peut avoir grâce aux barrages déjà construits doivent permettre de réviser les notions utilisées jusqu'à ce jour pour le projet des barrages. Révision certes très prudente et raisonnée puisqu'il s'agit de protéger des vallées entières. Mais lorsque les résultats des études analytiques et des essais sur modèles et ceux des études expérimentales entreprises sur des barrages semblables déjà construits se correspondent, on ne voit pas pourquoi il ne serait pas possible de diminuer sensiblement les coefficients de sécurité utilisés pour les barrages tout en les conservant plus élevés que ceux que l'on adopte habituellement pour d'autres constructions plus petites. C'est dans cette direction que l'on travaille en Italie, et c'est pour cela que dans nos barrages nous soignons d'une façon tout à fait particulière le contrôle avec instruments de mesure des efforts, des températures, etc. Nous pouvons aussi ajouter que les résistances à quatre-vingt-dix jours et surtout celles à vingt-huit jours ont une grande importance pour les caractéristiques des bétons ; mais elles sont purement momentanées pour l'ouvrage lui-même puisque les parties les plus sollicitées des barrages, surtout des barrages élevés, ne seront soumises à la charge maximum qu'après bien des mois, souvent après quelques années.

Pour en revenir au modèle, nous pouvons dire qu'il est, dans un certain sens, une machine à calculer, qui soutient l'intuition, et vous savez mieux que moi que souvent c'est le calcul qui trahit l'intuition et non le contraire.

Nous entrons ici dans un domaine extrêmement délicat ; mais il est vrai, et nous devons le reconnaître — pour être prêts aussi à nous défendre d'une tendence qui pourrait, si elle est trop poussée, nous conduire dans une mauvaise direction — que notre travail, qui consiste à projeter et à construire, se rapproche parfois de celui de l'artiste. Et c'est notre sens technique qui nous permet d'anticiper et de prévoir les solutions. Il provient, sans doute, de qualités innées et de la passion au travail, mais il ne mûrit et ne devient pleinement efficace qu'après de longues années de pratique. Il a une très grande importance pour des ouvrages complexes, comme les aménagements de chutes d'eaux qui ne peuvent être faits en série. Vu sous cet angle, le domaine des barrages est extraordinairement intéressant : on peut dire qu'il n'existe pas, en pratique, deux cas semblables ; par conséquent la meilleure solution doit et peut être dans chaque cas une solution originale, adaptée aux conditions imposées par la nature. L'expression de Bacon « Pour commander à la nature, il faut d'abord lui obéir » est profondément vraie : *Natura, non nisi parendo, vincitur.* Et l'attrait particulier de notre travail de projeteurs et de constructeurs dépend en grande partie de ce caractère.

Si nous voulons passer maintenant à des considérations d'ordre général sur les différents types de structure, notre sens statique et notre intuition sont bien plus satisfaits par un barrage-voûte que par la structure pesante et inerte d'un barrage-poids avec toutes ses inconnues sur le fonctionnement réel de la matière, sur les efforts intérieurs, sur les sous-pressions, etc. ; cela, nous ne pouvons le nier.

Nous avons la nette impression que les raisons de l'embarras que l'on éprouve inévitablement en face de cette structure massive seront éliminées plus facilement par une construction dont le système statique est mieux défini et plus approprié.

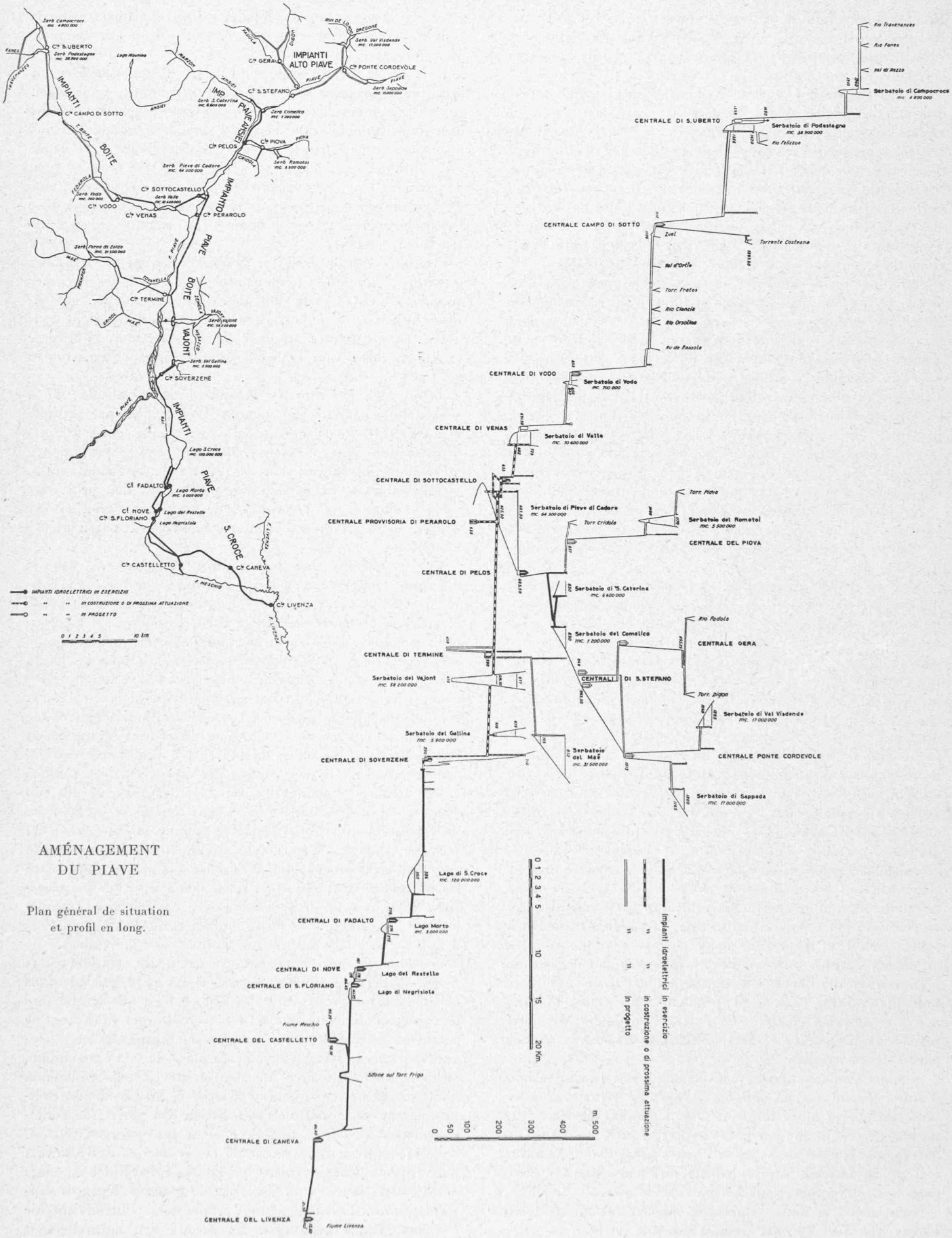
Le barrage évidé correspond aussi à une amélioration intuitive du barrage-poids ; on peut, cependant, avoir à son sujet des opinions fort différentes. Personnellement, je vous dirai que chaque fois que la roche de fondation n'a pas partout les mêmes caractéristiques et surtout si les flancs de la vallée sont notablement inclinés je ne vois pas très bien ce type de barrage ; mais je le vois fort bien partout où les variations du terrain sont continues et progressives, comme c'est le cas de beaucoup de vos barrages déjà existants ou en construction.

Cette déclaration de foi me donne l'occasion de vous faire remarquer une notion fondamentale que j'applique dans mes travaux et qui a pour moi une valeur essentielle : la continuité. Continuité de la construction interprétée surtout dans le sens de possibilité d'absorber, de transmettre et de répartir les efforts régulièrement, sans variation brusque dans toutes ses parties.

Je ne veux pas dire par là une continuité absolue de la construction pendant les travaux. Il est évident par exemple que les arrêts de bétonnage et dans certains cas les joints de dilatations sont nécessaires. Mais c'est par contre la continuité dans la transmission des efforts de la fondation au terrain et donc le fait d'éviter, partout où l'on peut, une surface d'appui en escalier et de brusques variations de section entre les divers éléments de la construction et des fondations.

En persévérant dans cette direction, j'en suis venu à supprimer pratiquement dans mes barrages les fondations en gradins. Il n'y a aucune opposition entre cette notion-là et celle de préférer une construction statiquement déterminée ; partout dans les constructions articulées, j'ai toujours préféré les éléments statiquement déterminés avec des joints correctement placés. Mais dans une construction monolytique, comme par exemple un barrage-voûte qui doit être conçu comme une plaque incurvée, toute discontinuité me semble illogique. De même, une fondation discontinue ne me paraît pas judicieuse. En effet, de toutes les études qui ont été faites, par exemple par Vogt, et de toutes les constatations expérimentales, comme des rapports les plus récents du Congrès de Stockholm, il ressort pertinemment que la roche de fondation doit être considérée comme faisant partie du barrage et devant fonctionner comme telle. La surface de contact barrage-rocher doit être donc capable de transmettre les efforts de façon uniforme. Naturellement, il y a des nécessités pratiques qu'il faut respecter, comme par exemple lorsque l'on doit partir de la fondation avec des plots tout à fait isolés. Alors des gradins limités sont inévitables.

Je ne veux pas vous ennuyer avec des considérations d'ordre général que plusieurs professeurs et techniciens dans ce domaine pourront vous développer bien mieux que moi et avec plus de compétence. Je n'ai voulu que vous montrer comment je conçois mes ouvrages. Je terminerai en rappelant seulement, pour en revenir au point de vue économique, et pour mieux préciser ma pensée que je suis convaincu d'obtenir, dans notre champ d'activité, une économie capitale par la conception et l'élaboration des projets de l'aménagement tout entier, puis de chacun des ouvrages, tout en tenant compte naturellement de la sécurité et des résultats parce que tout inconvénient qui pourrait se vérifier au cours de l'exploitation se traduirait par de grandes dépenses supplémentaires. C'est malgré tout là que nous pourrons obtenir les plus grands avantages. En second lieu naturellement



AMÉNAGEMENT DU PIAVE

Plan général de situation et profil en long.

l'économie est à rechercher dans la méthode de construction, soit dans l'organisation du chantier et les détails d'exécution. Mais cette seconde économie, si elle peut parfois être du même ordre de grandeur que celle que l'on obtient en élaborant judicieusement le projet, est plus faible la plupart du temps.

* * *

Venons-en maintenant aux barrages de l'Adriatica. Le terrain des Alpes et des Préalpes vénitiennes, où sont situés nos ouvrages, est caractérisé par une prédominance de calcaire de différentes périodes géologiques. Les barrages sont fréquemment construits dans des gorges étroites et profondes. La meilleure solution est le barrage-voûte ou le barrage en forme de dôme.

Comme, en général, la gorge se prolonge assez loin vers l'amont, il faut atteindre un niveau assez élevé pour augmenter le volume normal de retenue, parce que la capacité du bassin d'accumulation serait trop faible si on ne barrait que la gorge elle-même.

Les exemples les plus remarquables de barrages de ce genre sont ceux du Lumiei et du Vajont — dont je vous parlerai. Mais il y a encore d'autres possibilités de construire des barrages avec des caractéristiques parfois aussi exceptionnelles.

Je ne veux pas que vous croyiez que je veuille construire partout des barrages-voûte : je répète que c'est la nature qui commande, et, je peux vous dire que j'ai projeté, et que nous allons construire, plusieurs barrages d'autres types pour des emplacements qui ne se prêtaient pas à des barrages-voûte.

Je vous donnerai maintenant quelques détails sur nos barrages les plus grands : celui du *Lumiei*, qui est déjà terminé et qui a été contrôlé, le lac plein ; celui du *Piave*, en pleine construction ; celui du *Val Gallina*, dont les travaux ont été commencés, et celui du *Vajont*, dont les travaux débuteront peut-être dans le courant de 1949.

* * *

Le barrage de la *Maina de Sauris*, sur le torrent de *Lumiei*, qui se jette dans le Tagliamento — province d'Udine — repose sur un calcaire tout à fait compact du Ladinico (Trias moyen, partie supérieure). Le bassin de retenue créé par ce barrage a une capacité utile de 70 millions de m³ entre les cotes 980 et 905.

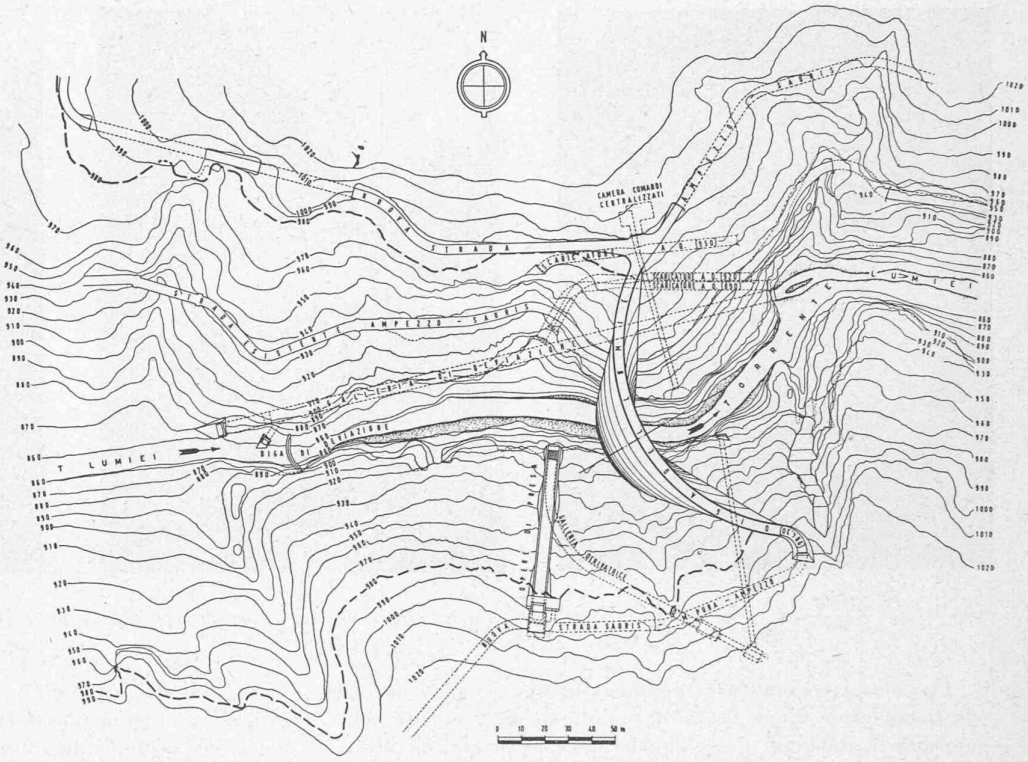


Fig. 1. — Barrage du Lumiei. — Plan de situation.

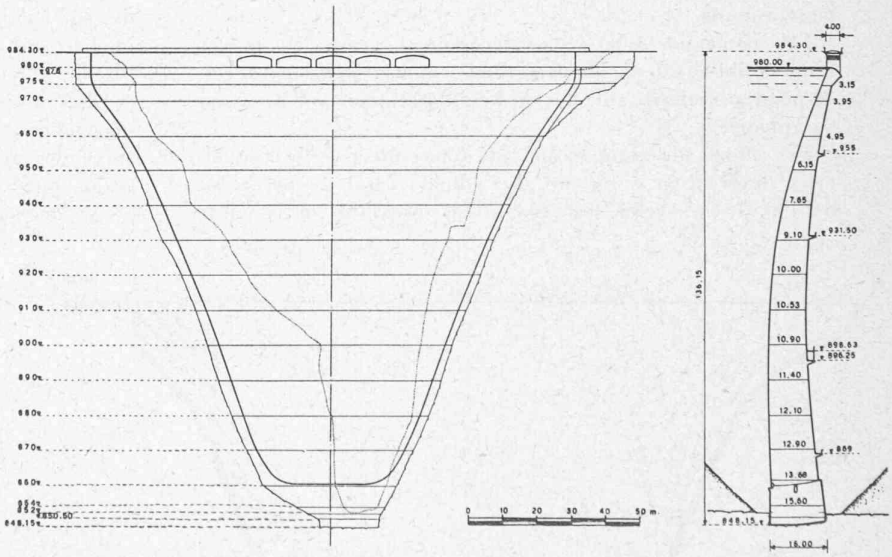
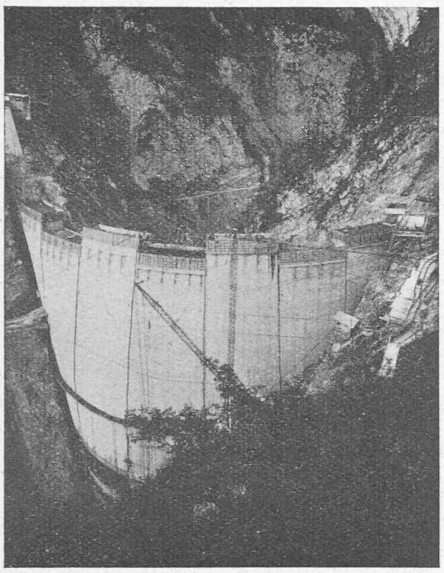
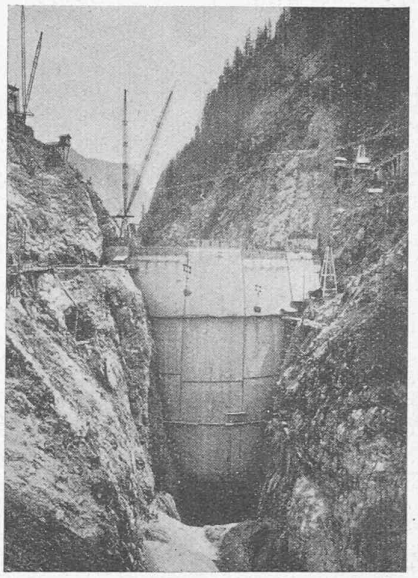


Fig. 2. — Barrage du Lumiei. — Elévation et coupe médiane.

Ce barrage a la forme d'une énorme tuile, placée hardiment en travers d'une gorge aux proportions grandioses et dont les parois rocheuses sont presques verticales. C'est, au fond, une plaque à double courbure ; en effet elle s'incurve nettement vers l'amont, ce qui améliore sensiblement les conditions de résistance. Sa hauteur est de 134 m depuis le bas des fondations jusqu'à la cote des crues les plus fortes. La corde, au sommet, est de 130 m, ce qui donne un rapport corde-hauteur d'environ 1 : 1. L'épaisseur à la clé est de 16 m à la base et de 3,15 m au couronnement ; aux naissances, les épaisseurs augmentent du 20 au 30 % environ.





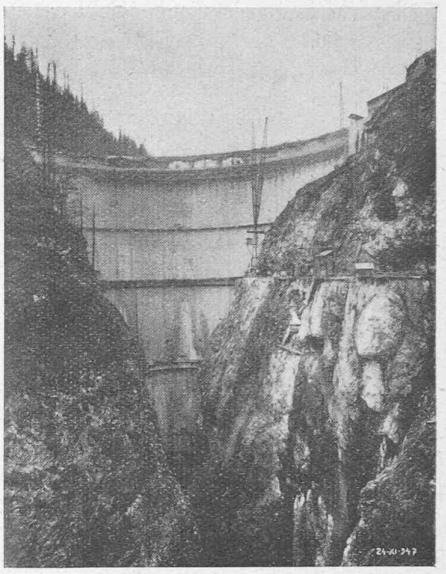


Fig. 3, 4 et 5. — Barrage du Lumiei. — Diverses étapes de la construction.

La voûte est simplement appuyée sur une couche continue de béton armé d'une épaisseur minimum de 2 m que nous appelons « pulvino ». Cette couche est une plaque de transmission et de répartition des efforts sur le rocher. On a créé par ce moyen-là, sur tout le périmètre, un joint continu, protégé par un couvre-joint. Les joints de construction, verticaux, espacés de 15 m, sont aussi protégés par des couvre-joints.

Les deux parements sont légèrement armés au moyen d'un double système de fers ronds, dont l'espacement correspond aux efforts calculés ou bien déterminés par les essais sur modèle.

Les efforts de compression ne dépassent pas 50 kg/cm², ceux de traction 8 kg/cm². Le volume total de béton est de 100 318 m³, celui des excavations de 63 000 m³, pour la plus grande partie sur le flanc droit de la vallée. Il fallait en effet obtenir une symétrie parfaite au-dessus du petit bouchon de fond qui, lui, est asymétrique.

La section du barrage, très étroite, donne presque la même impression qu'une feuille de papier alors que, sur place, le barrage donne un sentiment de sécurité absolue.

L'élaboration du projet de ce barrage, comme de ceux de Val Gallina et du Vajont, et la direction des essais sur modèle sont dues essentiellement à M. *Oberti*, professeur à l'Ecole polytechnique de Milan.

Dans la roche du flanc droit, légèrement à l'aval du barrage, un couloir assez profond aurait coupé le prolongement théorique des arcs horizontaux du barrage. Il a été rempli de béton, puis on a injecté la surface de contact. Cette mesure, qui a demandé un volume supplémentaire de 3903 m³ de béton maigre, a été bien plus économique que le déplacement vers l'amont de toute la culée droite jusqu'à un point où l'on aurait pu éviter cette intersection théorique.

Le barrage a été complété par un rideau d'injections dont le résultat a été parfait.

Il s'est agi là d'une construction vraiment exceptionnelle, principalement à cause de la qualité que devait avoir le béton. D'après les normes italiennes, il fallait qu'il atteigne une résistance de 350 kg/cm² après quatre-vingt-dix jours, qu'il soit très soigné, régulier au point de vue granulométrie et fabriqué avec un ciment spécial capable de résister à l'action des eaux du torrent légèrement séléniteuses. Par conséquent, la pouzzolane était à conseiller, et on en a ajouté au klinker, dans la proportion de 25 %.

Après de longues recherches, on a choisi uu ciment ferreux pouzzolanique à haute résistance. La pouzzolane a été transportée depuis les environs de Rome jusqu'aux fabriques d'Udine de la S. A. Cementi del Friuli par des trains spéciaux, et ce n'est que grâce à la collaboration de tous les intéressés (Service des barrages, Ministère des travaux

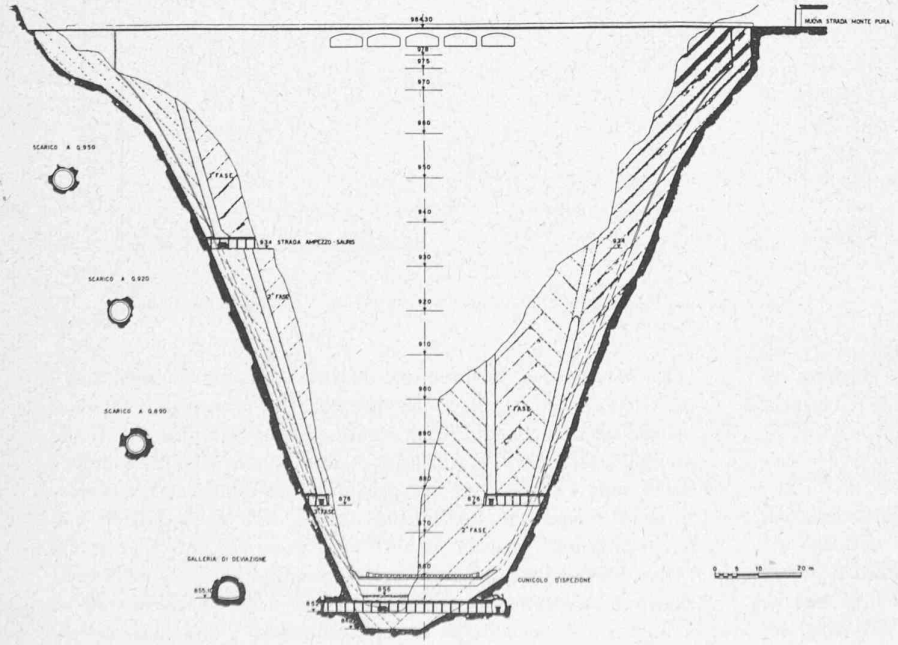


Fig. 6. — Barrage du Lumiei. — Exécution des excavations.

publics, Usines productrices et surtout les Chemins de fer de l'Etat) que nous avons réussi en 1943, et surtout pendant les années d'après guerre 1946 et 1947, à pourvoir sans interruption aux besoins de la construction ; mais je dois vous avouer que les difficultés rencontrées pour ces transports ont parfois été décourageantes.

Le ciment a été transporté de la fabrique au chantier du barrage dans des récipients cylindriques d'une capacité de 400 kg, selon un système mécanique utilisé en Italie déjà au barrage du Fraele, dans la Valtellina, par la « Azienda Elettrica Municipale » de Milan et en Suisse à Cleuson.

Ces récipients arrivaient à la gare de Villa Santina par wagons, d'où les prenait automatiquement un téléphérique de 18 km de long pour les amener au barrage. Les agrégats provenaient entièrement de roche calcaire concassée, extraite d'une grande carrière en forme d'entonnoir. Le diamètre maximum utilisé était de 80 mm.

La mise en place du béton a été effectuée au moyen de quatre derriks : deux sur rive gauche desservis directement depuis les bétonnières par wagons-bennes et deux sur rive droite desservis par des blondins qui transportaient les bennes d'une rive à l'autre. De cette façon on a pu éviter tout démélange.

La construction du barrage a débuté durant l'hiver 1941-1942 par la galerie de déviation. Les excavations des culées ont exigé presque deux saisons complètes, et ce n'est qu'à la fin de l'automne 1943, soit déjà pendant l'occupation nazie, que nous avons pu commencer la mise en place du béton.

Le bétonnage a recommencé en avril 1946 et a été achevé en novembre 1947. Les excavations, en forme d'entonnoirs, ont été exécutées en commençant par le haut. Les déblais étaient déchargés dans des puits creusés auparavant à l'intérieur de la masse rocheuse à excaver. Du fond de ces puits, les matériaux étaient transportés par galerie jusqu'à l'amont ou à l'aval du barrage. Avec ce système-là, le rocher a été attaqué en plusieurs points simultanément, et l'on a pu éviter que les déblais ne tombent au fond de la gorge, à l'emplacement du barrage, d'où il aurait fallu les enlever

Ce système qui s'est avéré très pratique a aussi été utilisé dans la gorge du Piave ; on l'utilisera aussi au Vajont. Le problème posé par les excavations des barrages de grande hauteur situés dans des gorges à parois escarpées est d'une importance remarquable et demande un délai d'exécution presque aussi grand que le bétonnage.

Vous pourrez trouver une description complète du barrage du Lumiei, avec des données sur le projet, le modèle, les chantiers, etc., dans les derniers numéros de 1948 de la revue technique italienne *L'Energia Elettrica*.

* * *

Le barrage sur le *Piave*, à Pieve di Cadore, est l'élément le plus important de l'aménagement Piave-Boite-Vajont. Les caractéristiques de ces installations étant remarquables, je pense qu'il peut être très intéressant de vous en donner un aperçu. Tout d'abord, pour fixer le schéma général, je dois commencer par vous donner un aperçu des usines existantes, surtout de celles de Piave - Santa-Croce.

Ces aménagements ont été conçus et réalisés sur la base de la régularisation par le lac de Santa-Croce — grand bassin de retenue saisonnier dont la capacité utile est de 120 millions de m³ — des débits variables du Piave à Soverzene près de Ponte nelle Alpi et de leur amenée jusqu'à la plaine par l'ancien sillon glaciaire du Piave vers Vittorio Veneto et le Livenza. Ce tracé est beaucoup plus court que celui

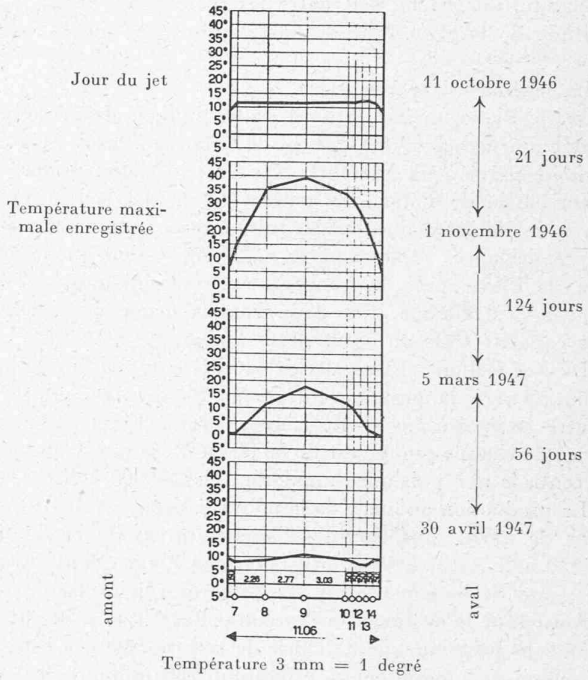


Fig. 8. — Barrage du Lumiei.
Diagramme de variation des températures.

qui suit le cours actuel du Piave. Se trouvent en outre sur le tracé le lac de Santa-Croce et d'autres petits lacs naturels ou que l'on a pu facilement régulariser. Enfin, l'eau est amenée ainsi économiquement à une cote de restitution beaucoup plus basse : 13 m d'altitude, alors que le pont de la Priula, à l'entrée du Piave dans la plaine, au pied des montagnes, est à 70 m environ.

Ce grand aménagement, achevé en 1929, a pratiquement partagé le bassin du Piave en deux parties égales : l'une que j'appellerai la partie nord-orientale, au nord de Soverzene, dont les débits coulent principalement jusqu'au lac de Santa-Croce et aux installations de Piave - Santa-Croce, l'autre qui en est indépendante, à l'aval de Soverzene. L'Adriatica a projeté et est en train de réaliser l'aménagement de ces deux bassins selon un schéma d'ensemble. La production des usines de Piave - Santa-Croce est aujourd'hui de 600 millions de kWh, répartis uniformément sur les douze mois de l'année. Ces usines pourraient bien absorber un débit plus grand que celui qui avait été prévu dans le projet, mais par suite du manque de régularisation à l'amont, et étant donné que le volume utile du lac de Santa-Croce ne peut être augmenté en proportion, une dérivation plus grande ne serait possible que pour des débits saisonniers d'une valeur tout à fait négligeable.

L'utilisation des eaux à l'amont de Soverzene a donc été étudiée dans le but de produire de l'énergie premièrement par de nouvelles usines et secondement par l'augmentation du débit moyen utilisable aux usines de Piave - Santa-Croce, en régularisant les eaux à l'amont de Soverzene.

Après de longues études durant lesquelles plusieurs anciens projets conçus indépendamment les uns des autres ont été refaits ou réunis en tenant compte aussi de l'autre aménagement important qui existait à l'amont, celui de Piave-Ansiei, dont les eaux sont restituées à Pelos à la cote 683,5 (production 120 millions de kWh), la solution d'une chute unique a été finalement adoptée. Elle utilise les eaux du Piave et de ses affluents, le Boite et le Vajont, sous une chute

maximum de 293 m, soit entre les cotes 683,5 et 390,5 — altitude de la prise d'eau des installations de Piave - Santa-Croce.

Le schéma est le suivant :

Sur le Piave, un lac artificel de 64 millions de m³ auquel seront amenées par une galerie de 5 km les eaux du Boite dérivées grâce à un barrage-voûte de petite dimension.

Du bassin du Piave, une galerie de 24 km de long et de 4,5 m de diamètre amenant les eaux à deux autres réservoirs, le premier après 18 km dans la vallée du Vajont qui se jette dans le Piave, près de Longarone ; le second après 24 km dans le Val Gallina. Ces deux bassins ont respectivement une capacité utile de 58 et de 6 millions de m³.

Du Val Gallina, deux galeries parallèles de 2,5 km de long aboutissent à la grande centrale de Soverzene équipée de quatre groupes à axe vertical, avec turbine Francis ; la puissance de chaque groupe est de 55 000 kW, ce qui donne pour la centrale une puissance maximum de 220 000 kW.

La production annuelle de la nouvelle usine est de 650 millions de kWh, sans compter l'augmentation de production de 150 millions de kWh des installations Piave - Santa-Croce, par suite de l'augmentation du débit moyen utilisable.

Ainsi tout le système nord-oriental du Piave, utilisant les eaux sans perte aucune de chute de la cote 830 à la cote 13, et qui jusqu'à maintenant produisait 720 millions de kWh entre Piave - Santa-Croce et Piave - Ansiei, pourra en produire 1520 millions, répartis uniformément sur les douze mois de l'année et ceci grâce à une série de bassins de retenue dont le volume utile total est de 260 millions de m³.

D'autres extensions sont prévues comme la dérivation des eaux du Maè, affluent du Piave sur rive droite, vis-à-vis du Vajont, et la construction d'un barrage sur le Maè lui-même. La production nouvelle atteindra ainsi près d'un milliard de kWh. Il va sans dire qu'avec le développement des installations à l'amont de Soverzene la séparation en deux du bassin du Piave, dont j'ai parlé il y a un instant, sera toujours plus complète.

* * *

Les travaux du Piave-Boite-Vajont, grâce aux particularités de l'aménagement, ont pu être répartis en plusieurs étapes, ce qui est très avantageux financièrement et pratiquement. La première étape, qui sera achevée en 1950, comprend l'édification du barrage du Piave, le percement de la galerie d'amenée du lac d'accumulation à la centrale de Soverzene (une seule des deux galeries du Val Gallina à la centrale), le montage de deux groupes dans la centrale avec une production annuelle d'environ 500 millions de kWh. Grâce à l'insertion d'une centrale provisoire à Perarolo, qui fonctionne depuis une semaine, on produit aujourd'hui déjà 80 millions de kWh.

La deuxième étape comprendra la construction du barrage du Val Gallina, le percement de la seconde galerie du Val Gallina à la centrale, le montage du troisième groupe. Elle est déjà commencée et sera achevée un an plus tard.

Le barrage de Vajont fait partie de la troisième étape, c'est-à-dire de l'achèvement de l'aménagement. Il sera commencé probablement cet été et sa construction durera quatre ans au moins.

Le calcul des éléments du projet, comme par exemple des diamètres des galeries, de la cote de retenue des lacs de Vajont et du Val Gallina, a fait l'objet de longues recherches analytiques et statistiques sur les données de vingt-cinq années.

L'interposition des réservoirs de Vajont et du Val Gallina, même sans considérer la régularisation due à ces bassins, offre de grands avantages économiques pour les dimensions de la galerie et des cheminées d'équilibre qui fonctionneront avec la masse oscillante d'une galerie de 2,5 km et non de 27.

* * *

Voyons maintenant le *barrage du Piave.*

Après des recherches géologiques longues et coûteuses au moyen de sondages et de galeries de reconnaissance en diverses sections de la vallée, entre Pelos et Perarolo, nous avons choisi une section que l'on pourrait définir comme la moins défavorable au point de vue morphologique et géologique à la fois de toutes celles — elles sont nombreuses — qui sont encore moins favorables.

La section, creusée dans un calcaire dolomitique du Trias supérieur, est formée d'un trapèze à base très large, environ 300 m, et de 55 m de hauteur. Le plateau rocheux qui en forme la base est entaillé sur rive droite par une gorge étroite et profonde de 55 m aussi, dont l'axe converge fortement vers celui de la vallée.

Les recherches géologiques ont permis d'exclure l'existence d'un lit épigénétique sur rive gauche, ce que l'on avait supposé tout d'abord. D'après la forme de la section, ma première idée était de barrer la gorge par un barrage-voûte s'appuyant, sur le plateau côté rive gauche, sur une culée massive. De là jusqu'au bord du plateau, un barrage poids ou évidé aurait complété la fermeture de la vallée.

Mais les essais sur modèles, effectués depuis 1939, ont révélé de très gros efforts de traction à la base de la culée. Pour les supprimer, il fallait augmenter le volume dans de telles proportions que tout avantage en était supprimé.

La solution mixte abandonnée, le plus simple aurait été de faire un barrage poids rectiligne ou presque, appuyé sur le plateau et sur un tampon (ou bouchon) d'obturation de la gorge. Cependant, étant donné la position de la gorge et son orientation par rapport à l'axe de la vallée, le bouchon aurait été très long et, d'autre part, si le barrage-poids situé

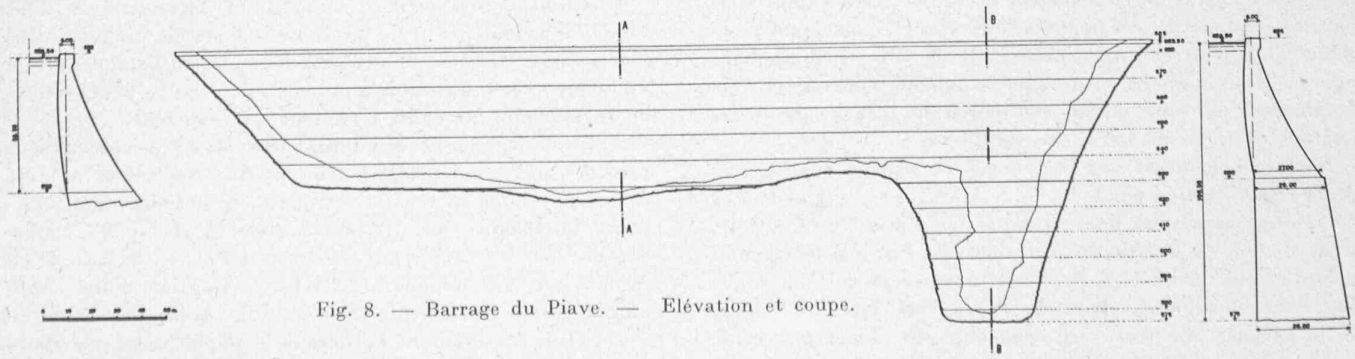


Fig. 8. — Barrage du Piave. — Elévation et coupe.

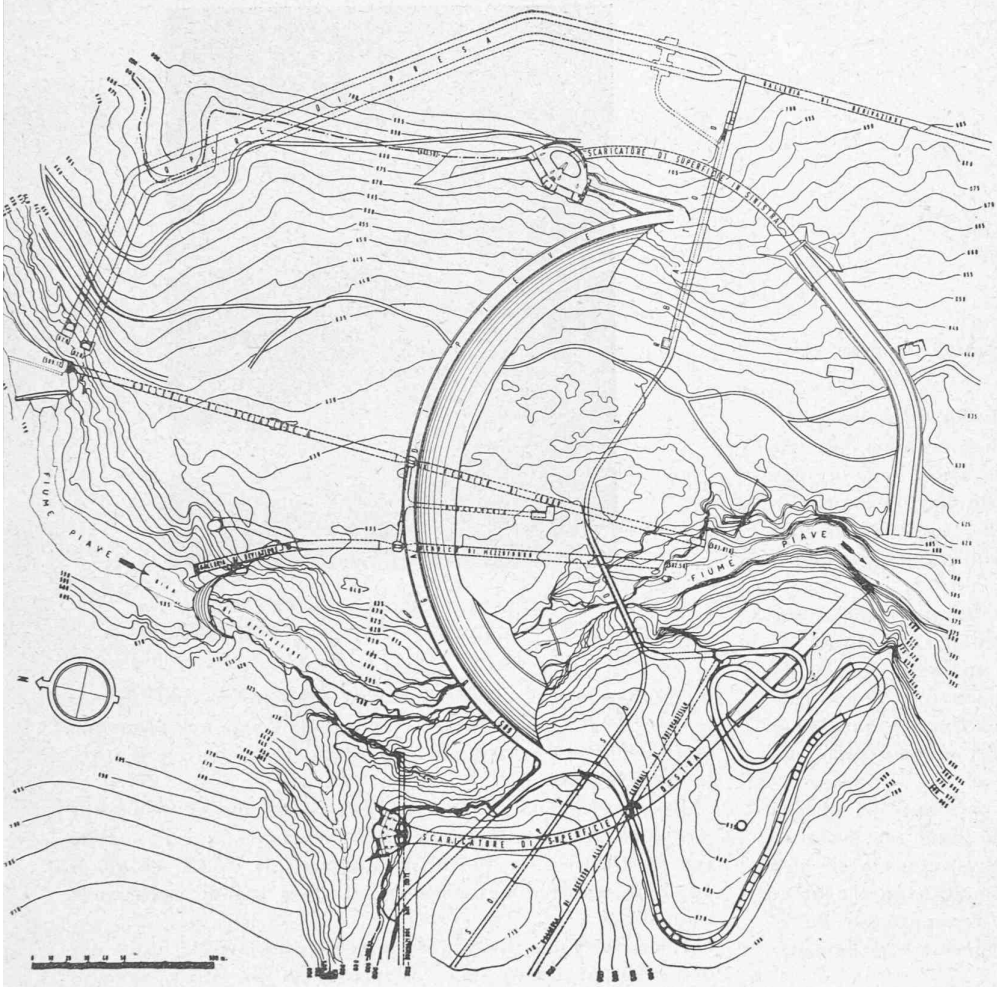
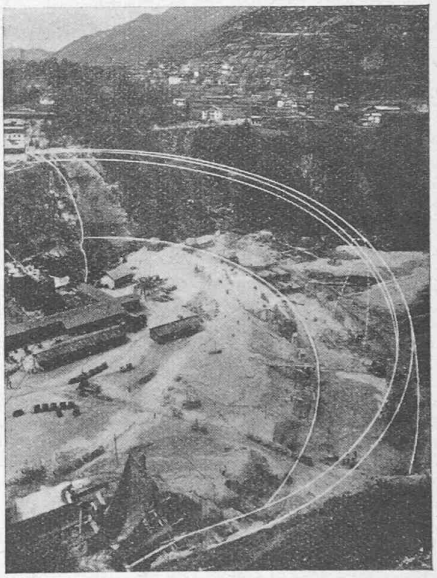


Fig. 9 et 10.
Barrage du Piave.
Plan de situation
et photo-montage.



sur le plateau avait été construit dans la section de la vallée la plus étroite, il aurait eu un parement aval qui se serait prolongé très profondément dans la gorge, créant ainsi une situation statique désagréable, à moins d'approfondir le parafouille amont jusqu'à la même cote qu'à l'aval, ce qui aurait augmenté le volume dans de très grandes proportions. Tout ceci sans parler de la situation pour le moins discutable, statiquement parlant, du tampon sous l'action de forces obliques provenant du barrage situé juste au-dessus de lui.

Pour éviter cela j'aurais dû donner au barrage-poids une direction perpendiculaire à l'axe de la gorge, mais par cet arrangement la culée gauche aurait été passablement déplacée vers l'amont, ce qui aurait énormément augmenté la longueur du couronnement.

Adopter un type de barrage évidé, dans ces différentes solutions, ne m'aurait été d'aucun avantage, parce que la diminution de volume du barrage supérieur aurait été compensée par l'augmentation de celui du tampon consécutive à l'augmentation de la largeur de base. Il faut aussi se rappeler que la gorge s'élargit vers l'aval et que le volume croît ainsi en raison plus que directe avec la longueur.

De la nécessité de satisfaire en même temps aux trois conditions suivantes :

1° direction perpendiculaire à l'axe de la gorge et parement amont situé le plus à l'amont possible pour réduire au minimum les dimensions du tampon,

2° pied du barrage supérieur assez éloigné du bord de la gorge,

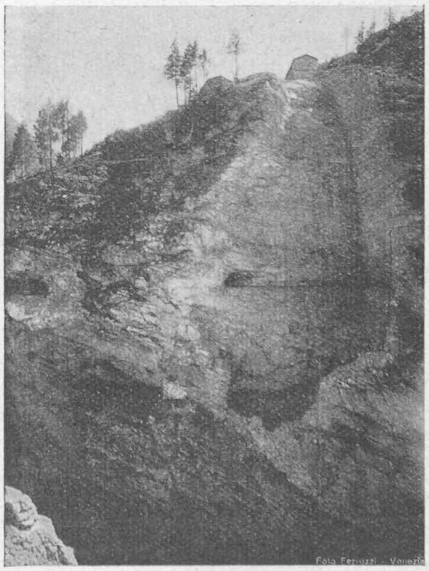


Fig. 7.
Barrage du Piave.
Excavation
de la culée droite.

3° culées contre les deux éperons rocheux qui forment la section la plus étroite de la vallée, au-dessus du plateau, est venue l'idée de donner au barrage supérieur une forme nettement arquée.

Cette décision prise, il était naturel d'essayer de profiter,

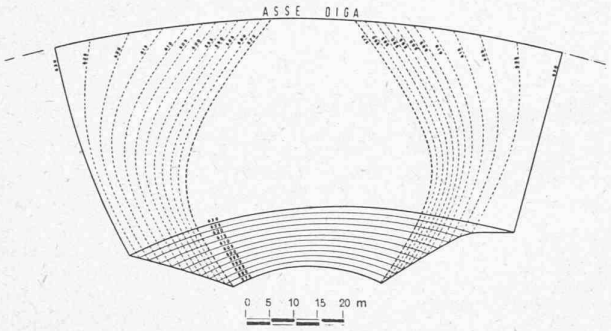


Fig. 11. — Barrage du Piave. — Plan du tampon.

dans le choix du système statique, de l'effet de voûte qu'offrait cette courbure et non de l'utiliser comme sécurité supplémentaire. C'est ainsi que je suis arrivé au barrage voûte-poids. Cette idée a été confirmée par l'examen de plusieurs barrages exécutés hors d'Italie, spécialement par le barrage Gibson et les barrages construits récemment dans le Massif central.

La forme définitive du barrage fut adoptée après une série d'études analytiques et expérimentales exécutées de façon systématique. L'arc supérieur a un rayon moyen de 160,9 m, un développement de 390 m environ, une corde de 305 m ; il est à 55 m au-dessus du plateau, ce qui donne un rapport corde-hauteur de 5,5, rapport un peu supérieur à celui du barrage Gibson.

J'ai parlé du rayon moyen parce qu'en réalité le couronnement est polycentrique, alors que la base est parfaitement circulaire. Cela veut dire que les sections verticales changent d'un point à l'autre de la voûte pour que la directrice des anneaux supérieurs tende à se rapprocher de la ligne des pressions. Les sections sont incurvées vers l'amont, avec un léger surplomb.

L'épaisseur normale, à la base, est de 26 m, soit environ le 65 % de celle d'un barrage-poids de même hauteur ; aux naissances, les surépaisseurs sont de l'ordre de 20 %.

Quant au tampon, d'une longueur de 53 m, il a une épaisseur variant de 26 à 36 m dans l'axe de la gorge.

Le volume total du barrage est de l'ordre de 380 000 m³,

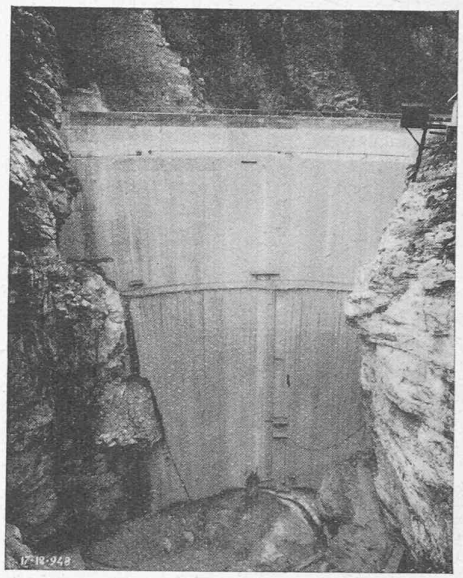


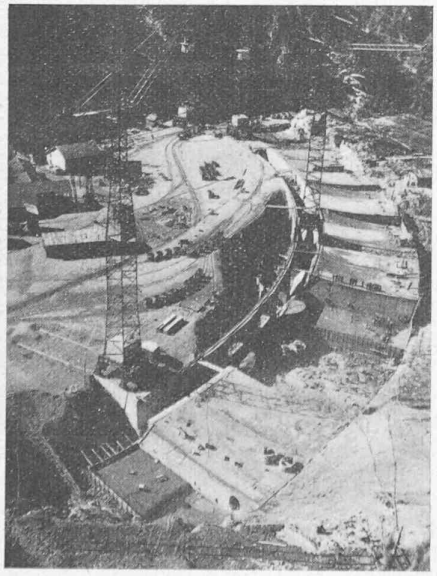
Fig. 12. — Barrage du Piave.
Le tampon en construction (novembre 1948).

ce qui représente, par rapport aux solutions les plus économiques de chacun des autres types de barrage, une économie de 100 000 m³, soit de 1 milliard de lires environ d'après les prix actuels.

Les études analytiques ont été faites par le professeur *Arredi* de la Faculté d'ingénieurs de Rome, qui s'est basé sur les théories de Smith, de Conti et de Tölke, et qui a appliqué d'autres méthodes de calcul en grande partie personnelles.

D'autres études théoriques intéressantes ont été faites par le professeur *Oberti*, du Polytechnicum de Milan, avec le concours du professeur *Danusso*. Elles se basent sur les méthodes de Tölke. Les résultats de leurs travaux ont été vérifiés par une méthode mixte, théorique et expérimentale, basée sur les déformations de modèles-plans représentant des arcs élémentaires et des consoles. Ces déformations ont permis de déterminer les déplacements radiaux qui entrent dans les systèmes d'équations par lesquelles on résout le problème hyperstatique du treillis imaginaire formé par les arcs et les consoles.

On a encore fait, dans mon propre bureau, une seconde



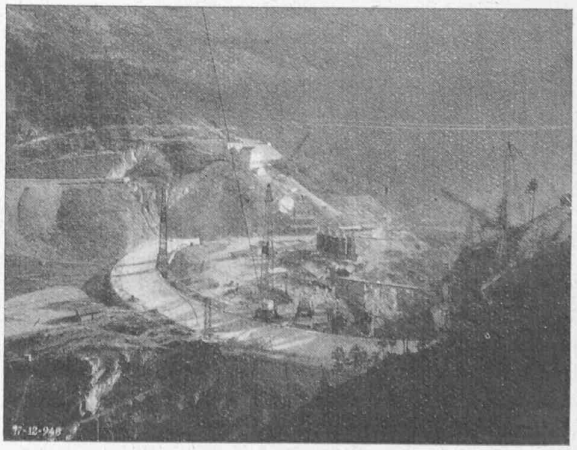


Fig. 13 et 14. — Barrage du Piave en cours de construction.

vérification d'après la méthode Trial Load de l'American Reclamation Service, qui, à vrai dire, est assez longue. Enfin, le comportement du barrage est actuellement contrôlé sur un modèle à l'échelle 1 : 40 pour lequel on a construit spécialement à Bergame un bassin d'essai en béton armé.

Les résultats fournis par le modèle sont extrêmement intéressants. Ces jours-ci on est en train de passer de la première phase à la seconde, qui donnera les dernières indications pour le travail de l'année prochaine.

Comme je l'ai déjà dit, ce bassin d'essai constitue le centre d'un institut qui sera bientôt agrandi et qui contiendra d'autres installations importantes pour des essais sur modèles.

Les résultats des études théoriques et expérimentales étant en parfait accord, nous avons été absolument tranquillisés. Le premier résultat est l'élimination des efforts tranchants, le second, l'importance de la pression absorbée par les arcs par rapport à celle des consoles, beaucoup plus grande qu'on ne pouvait le penser. Une des raisons réside aussi dans la déformabilité de la roche considérée dans son ensemble avec ses fissures et ses discontinuités, déformabilité déterminée par des essais sur un tronçon de galerie soumis à des fortes pressions. La roche a un module d'élasticité beaucoup plus petit que le béton et la déformabilité des fondations est grande.

Pour préciser les chiffres, je dirai que si le module d'élasticité des carottes de sondage était de l'ordre de 400 000 à 600 000 kg/cm², celui de la masse rocheuse, dans son ensemble, variait de 20 000 à 20 000 kg/cm². L'expérience a été répétée après que l'on eut injecté la roche ; les résultats passèrent alors à 50 000 ou 60 000 kg/cm². Par prudence les calculs ont tout de même été basés sur un module de 100 000 kg/cm².

Nous avons admis dans nos calculs que la sous-pression était inexistante. Pour l'éliminer, on a disposé un réseau de tubes de drainage et de galeries de contrôle qui recueillent en même temps les eaux.

Nous avons aussi procédé à des essais sur modèle pour le tampon. Ils nous ont été d'une grande utilité, car il était assez difficile de faire un calcul théorique quelconque qui corresponde au jeu effectif des forces.

La forme adoptée peut, à première vue, paraître étrange. Elle est le résultat de l'élimination dans la masse du barrage de tout ce qui ne participe pas à la résistance, le jeu de forces en présence tendant à former à l'intérieur du barrage un arc à forte courbure, ou arc de Résal.

Comme on peut le voir d'après les sections horizontales faites à des cotes différentes, ces sections s'élargissent à mesure que l'on monte pour se raccorder au barrage supérieur conformément à la notion de continuité que j'ai énoncée il y a quelques instants.

Les épaulements du barrage ont la forme d'un berceau à directrice radiale et, comme au barrage du Lumiei, ont un joint sur tout le périmètre. La profondeur des excavations effectuées a été, sur rive gauche, beaucoup plus grande que prévue dans le projet ; on peut donc dire que les deux épaulements sont pratiquement symétriques.

Le travail exécuté jusqu'à aujourd'hui correspond au bétonnage du bouchon et de toute la base du barrage jusqu'à une surface d'arrêt de bétonnage presque perpendiculaire aux lignes de pression. Cette surface, à la même altitude tout le long de l'arc, est courbe, et inclinée vers l'amont.

La venue de l'hiver ne nous a empêchés de bétonner que les deux derniers blocs, au pied de l'épaulement gauche. Ils seront bétonnés au début de la saison de 1949 et leur partie supérieure ne le sera que quelques mois plus tard, de manière que toute la superstructure, donc celle qui forme véritablement le barrage-voûte-poids, puisse reposer sur une masse de béton qui a été mise en place suffisamment de temps auparavant. La surface de reprise de bétonnage qui se prolonge jusqu'aux joints des naissances de la voûte sera protégée à l'amont par un couvre-joint. Le bétonnage est effectué par blocs de 11 m d'épaisseur en moyenne alternant avec des espaces convenables.

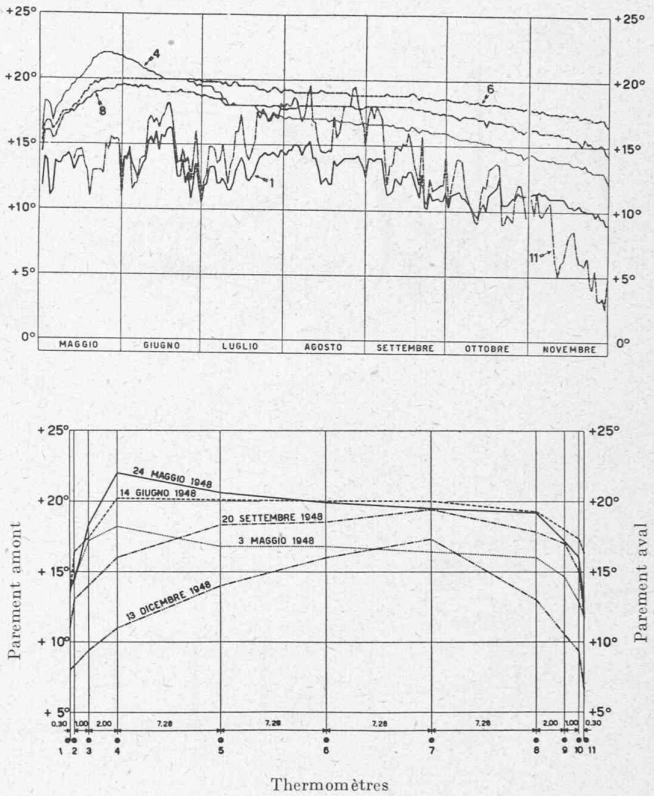


Fig. 15. — Barrage du Piave.
Variations de température dans le corps du tampon.

Le facteur thermique dont l'importance a été confirmée par nos calculs analytiques a été l'objet des plus grands soins. La première mesure que nous ayons prise à ce sujet a été d'employer un ciment spécial à faible dégagement de chaleur. Après de longues études comparatives nous avons choisi un ciment ferreux pouzzolanique à module calcaire assez bas, avec adjonction de 25 % de pouzzolane romaine et dont le contenu en silicate tricalcique est inférieur à 40 %-45 %. En outre, nous y avons ajouté du Plastiment, à raison de 1 %.

Les résultats avec ce ciment au point de vue thermique peuvent être considérés comme exceptionnels, puisque le maximum atteint n'a pas dépassé 33 centigrades comme le montrent les diagrammes de température à l'intérieur du bouchon, alors que la température monte normalement jusqu'à 45 ou 50 centigrades dans le corps des barrages, comme d'ailleurs nous l'avons aussi remarqué au Lumiei.

Sur la base de ces remarques faites lors de la campagne de travaux de 1948, nous avons abandonné la décision, prise auparavant, de bétonner la voûte, au-dessus de la reprise de bétonnage, en ménageant des joints ouverts d'une largeur d'un mètre que l'on devait bétonner après un hiver, comme cela a dû être exécuté à Rossens, procédé qui a été inévitable, dans ce cas-là, à cause des caractéristiques du ciment employé, mais qui présente d'ailleurs des inconvénients notables au point de vue exécutif.

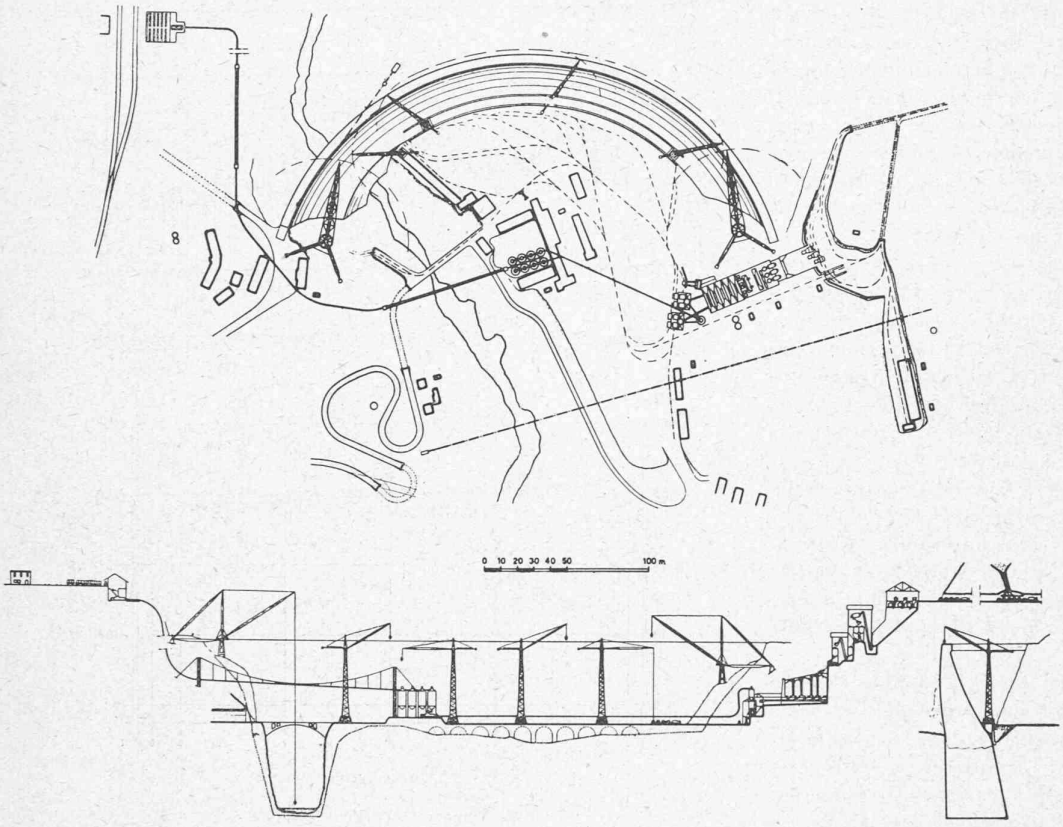


Fig. 16.
Barrage du Piave.
Installation du chantier.
Plan et élévation.

L'abandon de ce procédé a été motivé aussi par la considération suivante : étant donné les différences de températures appréciables que l'on remarque entre la surface extérieure des blocs et la zone immédiatement derrière, les flux thermiques qui se seraient formés dans le sens longitudinal du barrage entre le centre des blocs de bétonnage et la surface des joints auraient pu provoquer des tensions intérieures défavorables pour le comportement définitif du barrage.

Les ciments spéciaux vers lesquels, suivant la pratique américaine, l'on tend aujourd'hui en Italie, ont comme vous voyez des avantages techniques remarquables qui permettent une correspondante réduction de dosage — ce qui entraîne d'autres avantages techniques et compense largement la petite différence de prix que les producteurs demandent.

On peut dire que les producteurs italiens de ciment suivent avec beaucoup de soins la tendance du Service des barrages et des constructeurs vers une différentiation dans les types.

Un autre procédé que nous avons adopté pour combattre les phénomènes thermiques consiste à rendre tout à fait indépendants des efforts de traction les parties extérieures des joints entre blocs au moyen d'une couche bitumeuse.

Nous avons aussi en cours des essais comparatifs sur la gélivité.

La construction du barrage a commencé en 1942 et 1943 par les travaux préparatoires : batardeau et galeries de dérivation. Les excavations n'ont commencé qu'en 1945 et à la fin de 1946 la construction du barrage proprement dit a été confiée à l'entreprise Torno, de Milan, qui a exécuté remarquablement bien le barrage du Lumiei et qui met au service de son travail sa compétence dans le domaine technique et dans celui de l'organisation, et tout son enthousiasme. Les installations de chantier terminées en 1947, le bétonnage a commencé en 1948 : 132 000 m³ de béton ont déjà été mis en place.

Les installations de chantier sont grandioses et très bien ordonnées, favorisées en cela par la situation exceptionnelle du chantier, pour l'emplacement duquel on a pu profiter de la place constituée par le plateau rocheux égalisé au moyen des matériaux de l'excavation.

Les installations de bétonnage ont été prévues pour une production maximum de 1200 m³ par 10 heures. Pendant la saison de 1948 nous avons atteint un maximum de 27 000 m³ dans le mois de septembre, pendant celle de 1949 nous prévoyons d'arriver à 37 000 m³ par mois. En effet, le travail sera réparti en deux équipes et en outre nous pourrons disposer de la surface de bétonnage tout entière alors que, l'année passée, cette surface était pratiquement limitée au bouchon et aux fondations d'épaisseur réduite, sur le plateau. Nous espérons ainsi compléter le barrage en 1949 avec le bétonnage de 250 000 m³.

Le ciment est transporté, depuis la fabrique de Vittorio Veneto, dans les récipients métalliques habituels placés sur des wagons de chemin de fer jusqu'à la station de Sottocastello qui est à proximité du chantier. De là, il est transporté au moyen de pompes Fuller jusque dans les grands silos placés au centre du plateau, puis, de là, par d'autres pompes Fuller, jusqu'aux bétonnières.

Les agrégats proviennent du concassage de pierres calcaires dolomitiques extraites d'une grande carrière en forme d'entonnoir éloignée de 800 m environ du chantier et qui est reliée à lui, pour rendre le transport plus rapide et plus économique, par deux puits verticaux et une galerie.

Le béton est amené, pour être mis en place, par de grandes bennes posées sur des wagons. Ces bennes sont reprises par quatre tours mobiles pour être vidées sur les blocs de bétonnage. Ces tours se déplacent sur des rails placés à l'aval du barrage parallèlement à son axe. Deux grands derricks sont aussi utilisés pour le bétonnage du bouchon et des naissances de la voûte.

La dimension maximum des grains entrant dans la composition du béton du corps du barrage ne dépasse pas 150 mm.

Ce béton a un dosage de 200 kg/m³ de ciment, alors que le béton du parement amont a un dosage de 250 kg/m³ sur une épaisseur moyenne de 2 m 50. Tout le béton est vibré, sur place, au moyen de pervibrateurs Notz.

Les résultats obtenus, démontrés par des échantillons prélevés dans le corps du barrage et grâce à des trous forés dans le bouchon, sont très bons tant au point de vue résistance qu'à celui de l'étanchéité. Le poids spécifique du béton a dépassé 2600 kg/m³.

Les ouvrages annexes du barrage comprennent le batardeau amont, barrage-voûte mince, assez important quoique petit puisque sa hauteur est de 31 m et son épaisseur maximum de 2 m, en outre des vidanges de fond et à mi-hauteur traversant en galerie la terrasse rocheuse de Pian delle Ere. Elles furent déjà exécutées en 1942 pour être utilisées comme galeries de déviation. Enfin, un évacuateur de crues de surface situé sur la rive gauche. Le débit maximum que peuvent évacuer tous ces organes peut atteindre 1200 m³/sec.

En cas de crue absolument exceptionnelle on peut aussi admettre, sans qu'il en résulte le moindre inconvénient du point de vue de la sécurité, que l'eau s'écoule par-dessus le barrage, à travers le parapet qui est prévu en tubes métalliques reliant les poteaux de béton armé, ces derniers garantissant une bonne aération de la veine liquide.

La prise d'eau est aussi située sur rive gauche. Elle est constituée par deux galeries parallèles d'un diamètre de 3,50 m, équipées toutes deux d'une grille fine à grosses mailles et de deux vannes. *(A suivre)*

Accumulation de l'Hongrin avec usine hydroélectrique à Veytaux

Par Ch. PASCHOUD, Lausanne [1]

621.311.21 (494.451.4)

La Compagnie vaudoise des Forces motrices des lacs de Joux et de l'Orbe s'est substituée, en 1946, à la Compagnie d'entreprises et de travaux publics S. A. à Lausanne, qui avait présenté à l'Etat de Vaud, en septembre 1944, une demande de concession pour la mise en valeur des forces motrices de l'Hongrin.

L'aménagement projeté, représenté schématiquement à la figure 1, prévoit l'accumulation des eaux des cours supérieurs de l'Hongrin, de la Torneresse et de l'Eau-Froide dans un bassin situé à l'amont du « Tabousset » et leur utilisation, côté Léman, dans une centrale à créer près de Veytaux.

Les eaux étant détournées de leur bassin naturel, la réalisation de ce projet s'est heurtée à des difficultés provenant de problèmes juridiques à régler avec le canton de Fribourg ; mais l'on peut espérer que ces problèmes seront prochainement résolus dans l'intérêt commun des deux cantons intéressés.

Caractéristiques techniques principales

Les cours d'eau utilisés sont le grand et le petit Hongrin jusqu'à leur confluent, la Torneresse et l'Eau-Froide, respectivement jusque vers les cotes 1274 et 1268 ; les bassins versants correspondants atteignent 68 km².

Sur la base des débits de la Sarine observés à Broc par le Service fédéral des eaux pendant la période 1923-1942 et des débits enregistrés au Tabousset dès 1945, et compte tenu de pertes diverses, les quantités d'eau utilisables ressortent en moyenne à environ 55 000 000 m³ pour les six mois d'été, et 27 000 000 m³ pour les six mois d'hiver, soit au total annuel de 82 000 000 m³.

Le bassin d'accumulation projeté a une capacité utile de 38 000 000 m³ environ pour un plan d'eau maximum à la cote 1245 et une tranche utile de 65 mètres ; il en résulte que, en moyenne, 65 000 000 m³ pourront être utilisés pendant les six mois d'hiver et 17 000 000 m³ pendant les six mois d'été.

L'eau étant rendue au lac Léman, la chute brute maximum sera de 1245 — 373 = 872 m et les chutes nettes moyennes seront de l'ordre de 850 m pour une marche de l'usine de 24 h et de 805 m en hiver pour le débit maximum de 12,25 m³/s correspondant à une marche journalière de l'usine de 8 h.

[1] Extrait du No 7, 1949, du *Bulletin de l'Association suisse des électriciens.*

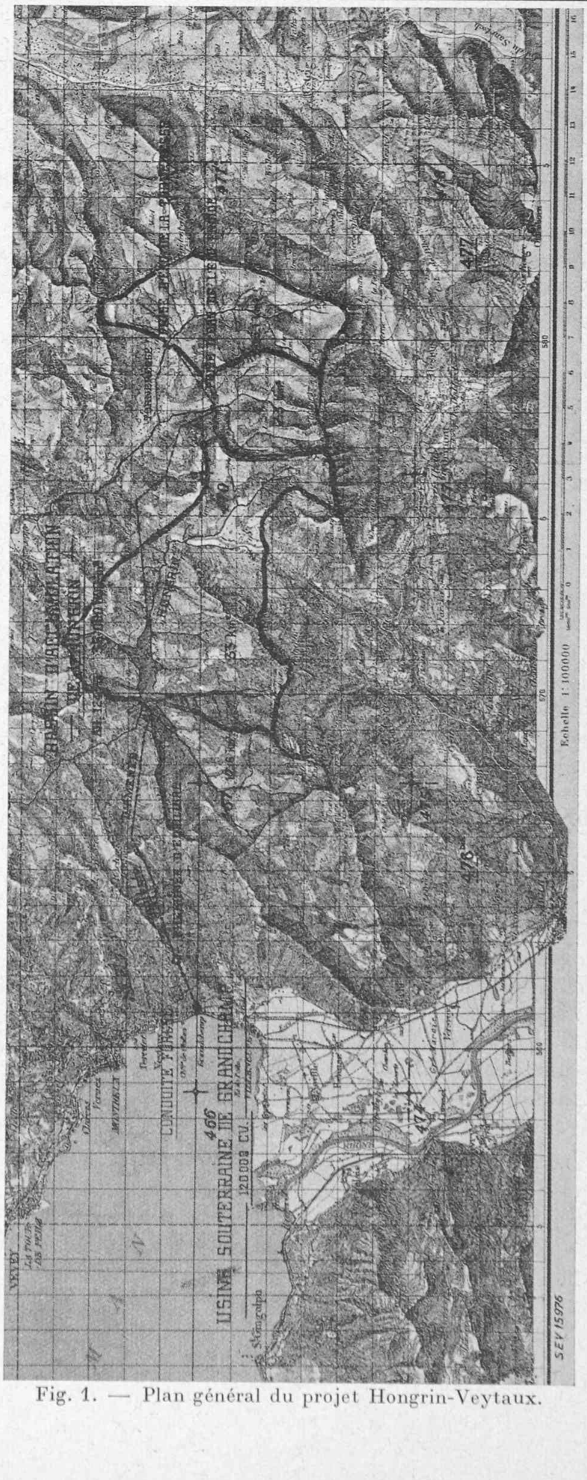


Fig. 1. — Plan général du projet Hongrin-Veytaux.