

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 82 (1956)
Heft: 5

Artikel: Vers l'électrification de la Grèce
Autor: Rallis, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-62053>

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: 26.01.2026

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, 26 francs
Etranger: 30 francs
Pour sociétaires:
Suisse: 1 an, 22 francs
Etranger: 27 francs
Prix du numéro: Fr. 1.60
Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »
N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à
Imprimerie La Concorde,
Terreaux 31, Lausanne

Rédaction

et éditions de la S.A. du
Bulletin technique (tirés à
part), Case Chauderon 475
**Administration de la S.A.
du Bulletin Technique**
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. Epitoux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. H. Gicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Groscurin, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, 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. Epitoux, 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)



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE : *Vers l'électrification de la Grèce*, par G. RALLIS, ingénieur E.P.U.L. — *La fabrique de ciment la plus moderne de Suisse*, par C. J. HERZIG, ingénieur. — **DIVERS :** *Commission pour l'étude du plan d'ensemble du réseau des routes principales.* — **BIBLIOGRAPHIE.** — **LES CONGRÈS :** *IV^{es} Journées de l'hydraulique; Colloque sur les barrages-voûtes; Comité Européen de Coopération des Industries de la Machine-Outil.* — Société suisse des ingénieurs et des architectes: *Groupe des ingénieurs de l'Industrie.* — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes: *Assemblée générale annuelle.* — **CARNET DES CONCOURS.** — **SERVICE DE PLACEMENT.** — **DOCUMENTATION GÉNÉRALE.**

VERS L'ÉLECTRIFICATION DE LA GRÈCE

par G. RALLIS, ingénieur E.P.U.L.

Préambule

La Grèce a le dangereux privilège d'évoquer à la fois une civilisation brillante, source d'inspiration de la pensée moderne, et un petit pays dont les seules richesses seraient ses ruines harmonieuses et ses marbres antiques. Pays, a-t-on dit, où « les chèvres vont broutant parmi les antiques colonnes... » On associe difficilement ces images à l'idée du développement moderne de la technique et de l'industrie.

Cependant, il ne faut pas oublier que la Grèce ne saurait être confinée dans le rôle de « Musée de l'Antiquité », qu'elle est un organisme vivant et que sa population sobre et travailleuse est décidée à avancer dans la voie du progrès technique, condition même de survie et de prospérité.

Classée dans la catégorie des pays économiquement sous-développés, la Grèce a un retard considérable à rattraper principalement dans le secteur énergétique et les plus grands efforts sont engagés depuis quelques années pour combler cette lacune par l'exploitation des sources d'énergie thermique et hydraulique du pays.

Car, contrairement à l'idée qu'on s'en fait généralement, la Grèce, loin d'être un pays dénué de ressources naturelles, possède un sous-sol riche en gisements variés et sa structure orogénique — qui rappelle celle de la Suisse — avec ses cours d'eau sauvages, ses

catavothres¹, ses sources abondantes, permet d'envisager l'électrification du pays avec son complément d'industries et d'irrigations, ce qui lui permettrait de s'aligner aux côtés des autres pays d'Europe.

Étapes de redressement

Je me bornerai à noter ici que, du point de vue énergétique — qui constitue un des critères principaux du degré de développement d'un pays — la production d'électricité par tête d'habitant en Grèce, atteignait à peine les 100 kWh par an, jusqu'en 1950. Ceci représente environ le trentième de la production correspondante en Suisse, dont l'étendue est environ le tiers et la densité de population environ le double de celle de la Grèce. Il faut ajouter encore, qu'à l'exception de la région de la capitale qui, il y a peu de temps encore, était équipée de centrales thermiques relativement importantes (environ 130 000 kW au total), le reste du pays n'était pourvu que de petits groupes Diesel à production intermittente, à rendement excessivement bas et de ce fait à coût très élevé par kWh produit. Ainsi, pour couvrir ses besoins en énergie, si modestes soient-ils, le pays était tributaire de l'étranger pour l'approvisionnement des combustibles nécessaires, ce qui pesait lourdement sur sa balance commerciale déjà déficitaire.

¹ Gouffres.

La répercussion défavorable qu'entraînait cet état de choses sur l'économie du pays et contre laquelle il fallait réagir, était par trop évidente.

Cette réaction se manifesta au cours des deux décennies écoulées, par une série de tentatives isolées qui consistaient d'une part à intensifier l'exploitation minière du pays et de l'autre, à établir les possibilités de développement de son potentiel énergétique. Ces tentatives étaient stimulées par le fait que des reconnaissances sommaires effectuées dans diverses régions du pays, portaient à admettre que la province jusqu'ici négligée, couvrait des ressources naturelles à tous points de vue intéressantes, tandis que la région de la capitale en était presque entièrement dépourvue. Ainsi, avant la fin de la première décennie, la production minière du pays en fer, pyrites, magnésie et chrome, avait été triplée, celle du nickel quintuplée et celle de la bauxite avait été augmentée de quarante fois ! En même temps, il était établi que les réserves encore disponibles, loin de présenter des signes d'épuisement par suite de cette exploitation intensifiée, s'étendaient bien au-delà des estimations jusqu'alors bien conservatrices.

D'autre part, pendant la seconde décennie, les efforts se portaient sur l'étude des ressources énergétiques, dont le potentiel global était estimé pour la première fois, à plus de six milliards de kWh par an, par la mise en valeur des chutes d'eau et à l'équivalent d'une réserve de plus de trois milliards de tonnes de lignite, disséminées d'un bout à l'autre du pays et notamment en Macédoine occidentale (région de Ptolémaïs), en Eubée et dans le Péloponèse.

La réalisation d'une pareille perspective, de par son étendue respectable à l'échelle des possibilités du pays, et les problèmes techniques, sociaux et financiers qu'elle posait, n'était guère chose facile. Il fallait procéder par étapes relativement modestes, en commençant d'abord, au lendemain de la libération du pays, par se remettre du profond ébranlement qu'avait occasionné la guerre. Cette période de redressement qui s'était manifestée par la généreuse assistance de diverses organisations internationales, dura environ cinq années. Au cours de ces années et parallèlement à la satisfaction des besoins immédiats, ont été également mis au point les fondements d'un programme de reconstruction du pays sur des bases technico-économiques plus saines



Fig. 1. — Réseau national de distribution d'énergie à haute tension (150 KV) et emplacements des diverses centrales grecques.

et viables : à savoir, l'étude assez détaillée de la mise en valeur des ressources naturelles du pays en coordination avec l'utilisation de son potentiel énergétique latent.

Ce n'est, ainsi, qu'au début de 1950 que fut créée l'« Entreprise Publique d'Electricité » qui devait mettre en exécution et entreprendre l'exploitation d'une première série d'aménagements hydroélectriques et installations thermoélectriques destinés à couvrir les besoins immédiats du pays en énergie et à pouvoir répondre au développement ultérieur de la consommation des nouvelles industries prévues parallèlement. Cette organisation fut secondée, dans ses premiers pas, par la « EBASCO Services Incorporated » de New York, qui, consultée à cet effet, avait confirmé l'intérêt et la nécessité de valoriser certains gisements de lignite et chutes d'eau les mieux connus jusqu'ici.

Le premier programme, qui comprenait la création d'une puissance globale nouvelle dépassant les 545 MW, devait être réalisé en deux étapes :

— la première, d'une durée d'environ cinq années, qui vient de se terminer, enregistre l'exécution de quatre centrales d'une puissance installée totale de

175 MW, dont trois hydroélectriques et une thermique, tandis que,

— la seconde prévoit la création de trois nouvelles centrales, toutes plus importantes que les précédentes et d'une capacité totale d'au moins 370 MW, dont deux hydroélectriques et une thermique.

En même temps, le pays fut doté d'une ligne de transmission de 150 kV, dont environ 1300 km sont déjà en service avec les réseaux de distribution de 15 kV correspondants, et environ 700 km supplémentaires sont prévus pour réaliser l'interconnexion des installations des deux étapes ci-dessus en un réseau national de haute tension (fig. 1).

Les installations construites au cours de la première étape comprennent, dans l'ordre de leur mise en service :

- 1° Une centrale thermoélectrique à Alivéri (à 60 km à vol d'oiseau de la capitale), équipée de deux groupes turbo-générateurs de vapeur de 40 000 kW chacun et alimentée en lignite extrait de gisements situés à proximité. Cette centrale était directement reliée à celles de la capitale, qui s'étaient avérées insuffisantes (fig. 2).
- 2° Un aménagement hydroélectrique sur le torrent Louros, en Grèce occidentale, d'une puissance installée totale de 5000 kW, de caractère local (fig. 3 et 4).
- 3° Un aménagement hydroélectrique (AGRA) situé en Macédoine occidentale et permettant de mettre en valeur la chute d'eau de la rivière Vodas et en même temps d'utiliser le potentiel énergétique du lac d'Os-trovo par rabaissement progressif de son niveau d'eau, suivant les fluctuations de la demande. La puissance installée de cette centrale de 40 000 kW est fournie par deux groupes d'alternateurs accouplés à des turbines Francis à axe vertical et à bêche spirale (fig. 5 et 6).
- 4° Un aménagement hydroélectrique (LADON) situé au centre du Péloponèse et permettant l'exploitation de la chute d'eau de la rivière Ladon, par la création d'une centrale de 50 000 kW, fournis par deux groupes comme ci-dessus (fig. 7 et 8).

Les fonds nécessaires ont été fournis, du moins pour les travaux de la première étape, par l'Administration de Coopération Economique (E.C.A.), en dollars américains, et par le budget du pays pour la contrepartie en drachmes et enfin aussi en exécution de l'Accord gréco-italien de coopération économique.

L'exécution de ces travaux constituait un exemple de collaboration internationale, puisqu'à l'exception du

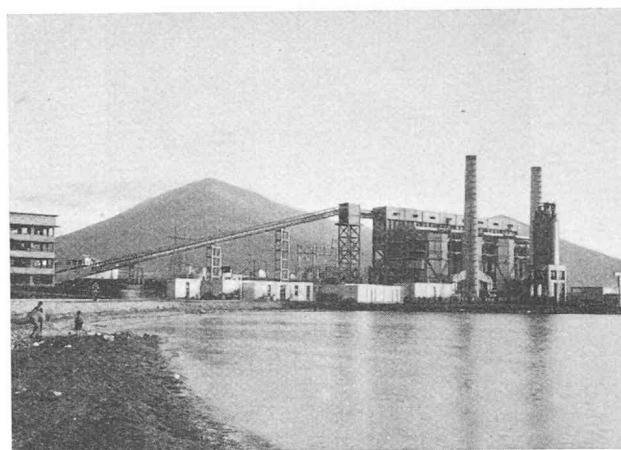


Fig. 2. — Centrale thermique d'Alivéri (Eubée).

personnel grec, qui y intervenait pour 80 % environ, des sociétés américaines, anglaises, italiennes, françaises et autres avaient activement participé à sa réalisation.

Dans le présent exposé, nous ne donnerons qu'un aperçu général sur les deux aménagements hydroélectriques les plus importants, c'est-à-dire ceux du Ladon et d'Agra, qui ont été mis en service récemment.

Conditions générales d'exécution

Ainsi qu'il ressort du premier programme susmentionné, les aménagements hydroélectriques sont appelés à jouer un rôle prépondérant dans ce pays :

D'abord parce que la seule ressource en combustible — le lignite — disponible en quantités relativement moindres, doit être épargnée pour couvrir aussi d'autres domaines de la consommation où il est indispensable.

Ensuite et surtout, parce que le régime des débits des cours d'eau grecs est tel qu'il s'adapte favorablement aux fluctuations saisonnières de la demande : par opposition, en effet, au régime alpin, les chutes de pluie sont, en Grèce, plus abondante en hiver qu'en été où le débit de nos cours d'eau serait même insignifiant si ces derniers n'étaient, en général, alimentés par

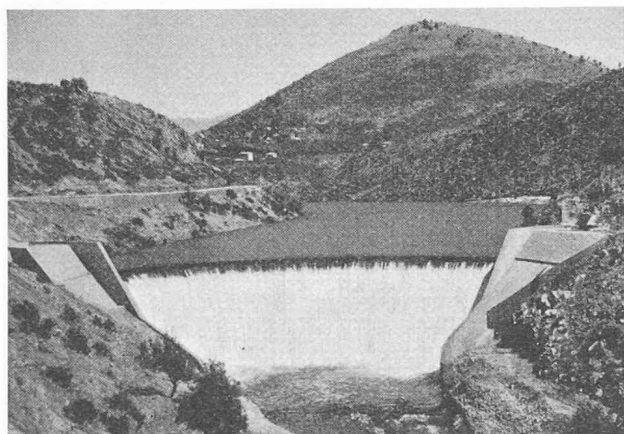


Fig. 3. — Barrage du Louros (en Epire).

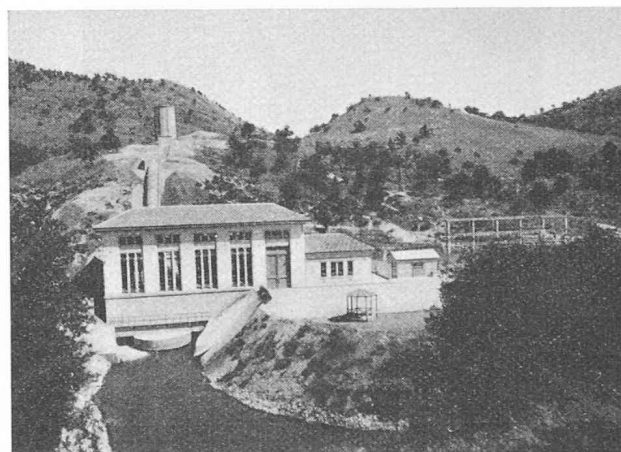


Fig. 4. — Usine du Louros (Epire).

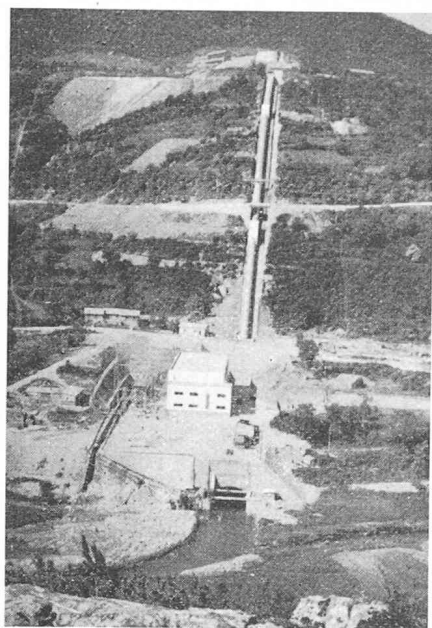


Fig. 5. — Vue générale de la centrale d'Agra (Macédoine).



Fig. 6. — Vue intérieure de la centrale d'Agra.

des sources importantes. En créant ainsi des accumulations artificielles ou en tirant profit d'accumulations naturelles, il est donc possible d'une part de constituer des usines de pointe qui, interceptées dans le réseau de transmission national, peuvent couvrir les périodes de consommation maximum d'énergie et d'autre part, de suppléer, en période de sécheresse, aux besoins d'irrigation des régions agricoles voisines de ces usines.

Les conditions d'exécution de pareils ouvrages en Grèce n'ont pas été — tout au moins au début — des plus favorables, en ce sens que les travaux préparatoires absorbaient toujours un temps respectable avant de pouvoir entamer les travaux proprement dits. Pour

se faire une idée générale des problèmes qui devaient être résolus préalablement, alors qu'ailleurs ils constituent des données de départ, il suffit d'en mentionner les plus importants : construction de routes d'accès, mise en état de routes existantes, renforcement des ouvrages d'art existants pour arriver à transporter à pied d'œuvre l'équipement pesant des centrales, production locale de la force motrice nécessaire à couvrir les besoins des chantiers et transmission de l'énergie ainsi produite (à 15 kV) aux divers emplacements des chantiers disséminés sur une distance de 10 à 20 km, préparation d'études géologiques et tectoniques détaillées, systématisation des mesures hydrologiques jusque là précaires, installation de cités ouvrières pour tout le personnel nécessaire, étant donné que la carence du réseau routier rend les villages de montagne grecs en général difficilement accessibles.

Mais on peut dire aujourd'hui que, malgré ces problèmes, auxquels viennent s'ajouter ceux dus à des

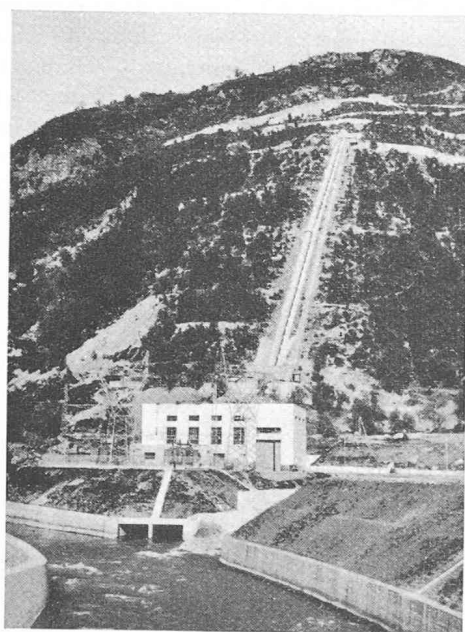


Fig. 7. — Vue générale de la centrale du Ladon (Péloponnèse).

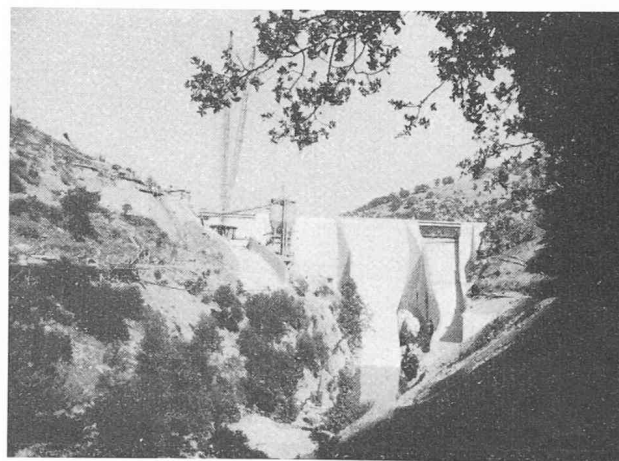


Fig. 8. — Vue aval du barrage du Ladon.

conditions géologiques et tectoniques plutôt défavorables qui s'étaient présentés en cours d'exécution, le rythme général d'avancement des travaux des aménagements de Ladon et d'Agra a été relativement régulier.

Aménagement du Ladon

La rivière Ladon, affluent de l'Alfios, qui baigne la cité antique d'Olympie, est alimentée par un certain nombre de sources et un bassin versant de 750 km², situé à l'extrémité nord-ouest de la province d'Arcadie, dans le Péloponèse. Ces eaux ont été mises en valeur, de 1951 à 1955, par la création d'un réservoir artificiel de 50 millions de m³ de capacité, formé à l'aide d'un barrage d'une hauteur hors fondation de 50 m environ et d'une longueur en crête de 106 m. Depuis la prise d'eau située sur la berge gauche du Ladon, les eaux sont amenées sous pression dans une galerie de 3,9 m de diamètre et d'une longueur de 8,7 km environ; elles aboutissent ensuite, par l'intermédiaire d'une chambre d'équilibre et d'une conduite forcée en acier fretté de 3,3 à 2×2,0 m de diamètre, sous une chute brute de 238 m, à la centrale équipée de deux turbines Francis à bêche spirale et axe vertical, accouplées à deux alternateurs de 25 000 kW chacun (32 000 kW en surcharge chacun).

Nous donnerons ci-après un bref aperçu sur les caractéristiques d'exécution des principaux ouvrages de l'aménagement ci-dessus :

Barrage : Le barrage du type gravité-évidé (fig. 8 et 9) comporte cinq éléments, dont le large maximum est de 22 m. Ils sont unis entre eux par quatre joints de dilatation, longeant le parement amont. La répartition uniforme du bitume dans ces joints, a été assurée par voie électrique. L'évacuation des crues, prévue pour un débit d'environ 1200 m³/sec, s'effectue par deux déversoirs latéraux pourvus de vannes à secteur automatiques et par la galerie de diversion de 4,2 m de diamètre. Ce barrage a été construit en deux phases successives, en béton au dosage de 230 kg/m³ de ciment, et de composition granulométrique ne s'écartant qu'insensiblement de la courbe Bolomey. Une attention spéciale a été consacrée aux fondations de ce barrage, où la roche était constituée, tant sur les flancs qu'au centre, de minces couches calcaires, ondulées, finement fissurées et avec des inclusions marneuses et argileuses. Ces éléments hétéroclites étaient toutefois disséminés de façon assez uniforme sur toute l'étendue de l'assise, pour lui assigner un caractère de plasticité à résistance moyenne élevée. La consolidation et l'étanchement de ces fondations, ont été atteints par l'exécution d'un programme d'injections, adapté aux particularités locales de la roche. Ce programme consistait d'abord à créer un écran étanche par forage d'une série de plus de 110 trous disposés en éventail, à des profondeurs variant de 20 à 85 m, avec une absorption moyenne générale de 0,12 tonne de ciment par mètre de forage ou 0,055 tonne par mètre carré d'écran, y compris les injections de contrôle. Le coulis constitué d'un lait de ciment : eau dans la proportion de $\frac{1}{8}$ à $\frac{1}{2}$, était injecté à des pressions allant jusqu'à 80 atm.

Le programme susmentionné comportait, en outre, l'exécution d'une série d'injections pour la consolida-

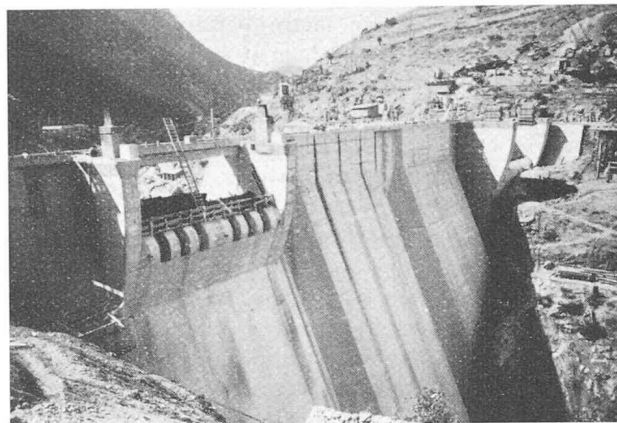


Fig. 9. — Vue amont du barrage du Ladon.

tion des zones d'appui aval et l'isolement de cavités et de poches d'argile localisées, avec des absorptions en général très faibles.

Dans l'ensemble, la consommation de ciment d'injection a atteint à peine les 780 tonnes dans 218 forages d'une longueur totale de 6,8 km.

Galerie d'aménée sous pression : Cette galerie a été attaquée presque simultanément par ses deux extrémités et quatre fenêtres d'accès intermédiaires. Comme elle traverse une succession de roches calcaires, marneuses, argileuses, radiolaritiques et des calcaires à inclusions marneuses ou argileuses, pour la plupart instables ou fissurées, cette galerie a été revêtue sur toute sa longueur, de béton aux dosages de 250 ou 300 kg/m³ de ciment, suivant que sa mise en œuvre a été effectuée à la main ou respectivement sous pression par la méthode Pressweld avec coffrage télescopique du type Blaw Knox. Ce système de bétonnage a permis de réaliser un rendement maximum atteignant 56 m/jour. Malgré les conditions géotectoniques défavorables, l'épaisseur de revêtement a pu être maintenue à 40 cm seulement sur les 91 % de la longueur totale de la galerie. Le support des roches était effectué au préalable à l'aide de NP 12 en forme de fer à cheval, distants de 0,5 à 2 m, aux points où des étais en bois ordinaires n'avaient pu être avantageusement utilisés. Sur les 9 % restants, où la roche finement broyée et tectoniquement bouleversée présentait une résistance bien amoindrie, il a été décidé soit d'augmenter l'épaisseur du revêtement jusqu'à 83 cm., soit de le renforcer à l'aide d'un anneau armé et gunité de 7 cm d'épaisseur. Les tronçons bétonnés sous pression présentaient une surface assez lisse pour ne pas nécessiter d'enduit; par contre, les tronçons où le bétonnage était effectué à la main ont été enduits à la gunite, sur 1,5 cm d'épaisseur.

Les conditions avantageuses de revêtement sur les $\frac{9}{10}$ de la longueur de la galerie mentionnée plus haut ont pu être atteintes, grâce à l'exécution d'un double programme systématique d'injections de consolidation de la roche encaissante et d'étanchement du revêtement lui-même qui suivait de très près les bétonnages : On commença d'abord par des injections de contact (entre roche et revêtement), distribuées uniquement sur la surface de la calotte. Le coulis binaire était composé de ciment et sable fin (1 : 1) et injecté à basse pression de 3 à 6 atm. L'absorption moyenne s'élevait

à 1,90 t de coulis par mètre perforé, équivalant à 1,06 t/m de galerie. Le rendement journalier était d'environ 28,3 m d'avancement. La consommation totale de coulis a atteint 9100 t environ.

Ensuite, on procéda à l'exécution d'une série d'injections de consolidation qui devaient assurer la participation désirée de la roche encaissante à la résistance du revêtement proprement dit : les trous étaient distribués sur le développement de deux cylindres hélicoïdaux de pas égal au diamètre de la galerie (3,9 m) se succédant à équidistances égales à la moitié du pas. Ici, le coulis constitué par un mélange uniquement de ciment et eau, était injecté sous une pression de 15-25 atm., jusqu'à une profondeur de 2-2,50 m. La consommation totale de ciment utilisé dans cette seconde série d'injections s'élevait à 11 230 t. L'absorption moyenne était réduite à 0,26 t de ciment par mètre perforé, équivalant à 1,31 t de ciment/m de galerie, avec un avancement de 23,3 m/jour. Il est toutefois à noter que les absorptions dans ces injections de consolidation présentaient, dans plusieurs zones calcaires ondulées et fissurées, des pointes atteignant jusqu'à 7 t de ciment par mètre de galerie.

Malgré l'instabilité des roches sur plusieurs tronçons de cette galerie, les essais de mise en pression, effectués à la fin du double programme d'injections ci-dessus, ont été favorablement concluants : sous la pression de service, la fuite de 0,5 % sur le débit total écoulé sur toute la longueur de la galerie diminuait rapidement, au fur et à mesure que les pores des secteurs non enduits du revêtement étaient bouchés par les particules fines entraînées par l'eau.

Aménagement d'Agra

Le but poursuivi dans l'exécution de cet aménagement était double : il consistait à mettre en valeur d'une part les eaux de la rivière Vodas (en Macédoine occidentale), dont le débit présente peu de variations grâce aux sources qui l'alimentent et d'autre part, le potentiel énergétique du lac d'Ostrovo, situé à environ 17 km en amont, par abaissement progressif de son niveau d'eau — jusqu'ici presque régulièrement croissant — sur une hauteur totale de 20 m, de façon à couvrir plus aisément les fluctuations de la demande d'énergie sur le réseau national de distribution.

Cet aménagement comprend ainsi les ouvrages suivants dictés par la configuration même du terrain :

— une prise d'eau à approfondir progressivement, sur un certain nombre d'années, jusqu'à atteindre la dénivellation de 20 m mentionnée ci-dessus et assurant un écoulement libre dans la galerie d'amenée ;

— une galerie à écoulement libre d'environ 6 km de longueur et 2 m de diamètre, située au moins 20 m sous le niveau primitif du lac d'Ostrovo, et débouchant dans le bassin naturel de Nissia situé à une cote de 53 m inférieure et qui contient les sources de la rivière Vodas. L'ensemble de ces eaux est dirigé dans un canal revêtu de béton de 1780 m de longueur et de 35 m³/sec de capacité totale, qui aboutit à une chambre de mise en charge. De là, une galerie sous pression de 1700 m de longueur et 4 m de diamètre dirige les eaux, par l'entremise d'une cheminée d'équilibre, dans une con-

duite forcée en acier de 3,1 m de diamètre sur un développement de 437 m. Cette conduite aboutit à l'usine hydroélectrique qui permet de mettre en valeur une chute totale de 160 m à l'aide de deux groupes de 20 000 kW chacun, à turbines Francis à bêche spirale et axe vertical.

Enfin, les eaux restituées dans l'ancien lit du Vodas sont accumulées à l'aide d'une digue en terre de 10 m de hauteur et 180 m de longueur, à noyau imperméable, située en aval de l'usine, permettant de régler le débit ainsi augmenté du Vodas, suivant les nécessités d'irrigation de la région aval.

Dans ce qui suit, nous nous bornerons à donner un bref aperçu sur les particularités d'exécution de la prise d'eau d'Arnissa et la galerie d'amenée Ostrovo-Nissia, qui paraissent présenter un intérêt spécial au point de vue de leur étanchement.

Prise d'eau d'Arnissa : Cette prise d'eau est située à proximité immédiate du lac d'Ostrovo dont le littoral, préalablement prospecté par sondages, a décelé la présence de bancs de calcaire massifs ayant subi des pressions tectoniques importantes : qu'il me suffise de mentionner ici que ce calcaire présentait tout un réseau de fissures, vides ou remplies de terre rouge et en certains points, des cavités karstiques allant jusqu'à 2,5 m de largeur, qui rendaient inévitable l'infiltration des eaux du lac dans les ouvrages en exécution.

En prévision des conditions défavorables d'exécution d'une prise d'eau répondant aux fonctions mentionnées plus haut, plusieurs solutions avaient été examinées, suivant que le travail devait être effectué à sec ou sous l'eau. La solution adoptée consistait en un système composé d'un puits vertical de 32 m de profondeur suivi d'une galerie horizontale de jonction avec la galerie d'amenée principale, de 52 m de longueur. Quoique ce système représentât un périmètre minimum exposé aux infiltrations, il a été nécessaire de recourir à des mesures spéciales, pour arriver non seulement à atteindre un rendement satisfaisant du travail d'exécution, mais encore, pour rendre cette exécution possible dans des circonstances aussi défavorables. Ces mesures consistaient :

- 1° d'une part à exécuter préalablement des injections d'étanchement en direction, de façon à permettre un avancement par étapes successives et,
- 2° d'autre part, à mélanger au coulis binaire de base (ciment-sable), un produit qui, à des pressions d'injection allant jusqu'à 20 atm. aurait permis de boucher les fissures de la roche dans le plus bref délai possible. Comme tel, il a été avantageusement utilisé une « bentonite » grecque activée à la soude Solvay, dont la capacité de gonflement sous l'action de l'eau et le pouvoir de retenir les particules fines en suspension dans l'eau d'injection permettaient de réduire sérieusement la consommation de ciment.

En raison de l'importance des fissures rencontrées notamment dans le puits vertical de la prise d'eau les absorptions de coulis ternaire ci-dessus (2°) variaient de 0,5 à 72 t par mètre de forage, avec une moyenne de 5,9 t/m de forage, correspondant à une absorption moyenne de 96,50 t/m de puits. L'absorption moyenne dans la galerie de jonction n'était que de 0,62 t/m de forage équivalant à 2,34 t/m de galerie. Après la fin de la campagne d'injections, l'on procède au creusement de la tranchée d'alimentation du système de prise,

toujours à l'aide d'injections préalables. Ce procédé sera répété sur plusieurs périodes de temps, au fur et à mesure de l'abaissement du niveau du lac d'Ostrovo jusqu'au niveau final désiré.

Galerie d'amenée d'Ostrovo-Nissia à écoulement libre :

Le creusement de cette galerie de 2,00 m de diamètre net a eu lieu par les deux bouts et simultanément par deux fenêtres d'accès intermédiaires. La roche était constituée d'une succession de schistes métamorphiques alternant avec des calcaires tantôt compacts, tantôt à structure schisteuse, comportant souvent des diaclases et en règle générale fissurés dans toutes les directions. Dans certains tronçons les fractures enregistrées dans le calcaire étaient remplies d'argile ou de terre rouge rappelant les conditions notées sur le littoral du lac d'Ostrovo. Malgré cela, les deux tiers de la longueur du tunnel ont pu être creusés normalement : les avancements ont été de l'ordre de 100 m de galerie par mois en moyenne (avec un rendement journalier maximum de 9 m), sur le front d'attaque par l'extrémité aval à prédominance de calcaires subcrystallins compacts, et de 128 m par mois en moyenne sur les deux fronts issus de la fenêtre intermédiaire amont (avec un rendement journalier maximum de 5,85 m par front).

Par contre, sur le tiers restant et notamment dans le plan incliné d'accès depuis Ostrovo d'une part, et dans la prolongation des deux fronts de la fenêtre aval et dans le front amont de la fenêtre amont d'autre part, il a fallu avoir recours aux mesures spéciales précitées : c'est que tant les zones de contact entre les schistes métamorphiques et les calcaires, que les zones calcaires très fissurées, communiquaient selon toute apparence avec le lac, puisque la pression des infiltrations enregistrées dans ces zones, de 2-3 atm correspondant précisément à la pression hydrostatique du lac.

L'application à ces secteurs géologiquement et tectoniquement défavorables, de la méthode précitée d'avancement par étanchement préalable de tronçons successifs de 30 à 70 m de longueur, en direction, avec recouvrements de 10 m, a permis de réaliser un rendement global moyen sur l'ensemble de ces secteurs (d'une longueur totale de 1720 m), de 3,55 m de galerie par jour, les avancements moyens par front variant entre 0,87 et 1,35 m/jour. Le coulis ternaire (ciment-sable-bentonite activée) utilisé à cet effet présentait une absorption moyenne de 9,4 t/m de galerie sur les secteurs en question, ce qui conduisit à une absorption moyenne de 2,8 t/m rapportée à la longueur totale de la galerie.

Il est bien entendu que le revêtement en béton au dosage de 250 kg/m³ posé à la main, suivait le creusement de très près. L'épaisseur de celui-ci était en règle générale de 35 cm avec renforcement à l'aide d'anneaux en profilés NP 12, à l'exception de quelques petits tronçons (6,7 % de la longueur totale de la galerie) où des épaisseurs allant jusqu'à 60 cm étaient atteintes. Ce revêtement était ensuite enduit au ciment avec immixtion d'accélérateurs de prise pour suppléer à l'effet des injections dans certains tronçons.

Enfin, l'étanchement du revêtement a été réalisé par l'exécution d'un programme systématique d'injections de contact à basse pression (1 atm.) limitées, comme dans le cas de la galerie du Ladon, à la seule calotte : l'absorption moyenne de coulis ternaire, mais à immixtion d'une proportion moindre de bentonite, atteignit à peine 0,73 t/m, avec un rendement journalier de 43 m de galerie. Il est à noter que dans un petit secteur, à l'extrémité aval de cette galerie, où le coulis était composé uniquement de ciment et de sable en proportions égales, l'absorption avait été environ décuplée, sans présenter le degré de saturation désiré.

Travaux en vue

L'exposé qui précède ne donne qu'un succinct aperçu sur deux des aménagements hydroélectriques réalisés en Grèce et qui sont en service depuis près d'une année. Comme il a été dit plus haut, le programme d'électrification du pays est en réalité — et à juste titre d'ailleurs — beaucoup plus ambitieux puisque dans le cadre de sa seconde étape, il prévoit la création de nouvelles usines d'une puissance installée plus que double de celle formant la première étape.

Parmi ces aménagements, l'on peut déjà citer celui de la Megdova, en Thessalie, qui vient d'entrer dans la phase d'exécution. Son équipement comprend la construction d'un barrage-voûte en béton de 72 m de hauteur, d'une galerie d'amenée de 2,6 km environ de longueur, suivie d'une conduite forcée de 3 km. L'installation d'une usine prévue pour une puissance totale de 120 MW permettra ainsi de mettre en valeur une chute de 530 m pour une production annuelle de 450 millions de kWh, en coordination avec un programme d'irrigation de 20 000 hectares.

Achéloos (200 MW), Ptolémaïs (65 MW), Aliakmon (240 MW) sont d'autres aménagements en perspective, dont la réalisation prochaine, espère-t-on, élargira encore les secteurs d'activité industrielle et agricole de la Grèce.

LA FABRIQUE DE CIMENT LA PLUS MODERNE DE SUISSE à Eclépens (Vaud)¹

par C. J. HERZIG, ingénieur

A Eclépens, à 20 km de Lausanne, une fabrique de ciment très moderne a été mise en service en août 1953. Elle livre depuis, journallement, 7000 sacs de ciment Portland et soulage de ce fait le marché des liants qui doit faire face à des demandes toujours accrues.

Un emplacement remarquablement favorable met les matières premières à portée de la main : le calcaire, d'une teneur de 85 à 95 % de CaCO₃, et l'argile, à moins

¹ Extrait de la *Revue des matériaux de construction*, n° 481, octobre 1955.

666.94 (494)