

LA HOUILLE BLANCHE

ÉDITIONS B. ARTHAUD, Succ^r de J. REY, GRENOBLE

Abonnement pour une Année { France..... 40 francs } Le Numéro : 7 francs
 { Étranger..... 50 francs }

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE. — La construction du barrage de Cignana, par Felice CONTESSINI, ingénieur (Direction des Constructions hydrauliques du groupe S. I. P).

ÉLECTRICITÉ. — Aménagement de la Centrale de Volhov, en Russie. — Les machines électriques à vitesse variable (*suite*).

LÉGISLATION. — Le refus d'une permission de voirie, annulation par le Conseil d'Etat (Arrêt du 1^{er} mars 1929.), par Paul BOUGAULT, avocat à la cour d'appel de Lyon.

DOCUMENTATION. — Huiles et Graisses industrielles (*suite*), etc.
BIBLIOGRAPHIE.

HYDRAULIQUE

La construction du barrage de "Cignana"

par Félice CONTESSINI, *Ingénieur*
 (Direction des Constructions Hydrauliques du Groupe S. I. P.)

I

NOTIONS GÉNÉRALES SUR LE BARRAGE.

Le barrage de Cignana fait partie des aménagements hydro-électriques que la S. I. M. (Société hydro-électrique Marmore), appartenant au groupe S. I. P. (Société hydro-électrique du Piémont), établit dans la vallée du torrent Marmore, affluent de gauche de la Dore Baltea.

Le schéma général (fig. 1) montre les installations pour l'utilisation intégrale du torrent et divise les travaux de première et de seconde phase.

Actuellement, les premières viennent d'être terminées et sont en fonctionnement, ce sont : la prise de Perrères, l'installation des pompes Promeron et le barrage de Cignana. (fig. 2).

La construction de cette dernière œuvre fut décidée à la fin de l'année 1924.

L'année suivante furent entreprises les installations de Canlière et les puits de fondation ; en août 1926, à la fin des dits travaux, commença l'érection des bâtiments terminée en septembre de la même année.

L'entreprise des travaux a été confiée à l'Entreprise Umberto Girola, sur les données du professeur A. Forti.

La direction des Constructions hydrauliques du groupe S. I. P., qui a fait le projet, s'est réservé la direction des travaux, l'étude de la partie technique de construction et les recherches.

Le barrage de Cignana se trouve à 2.150 m. d'altitude, il est constitué par deux digues contiguës qui s'appuient sur un éperon rocheux qui les divise (fig. 3-4) ; la plus grande est un barrage à gravité en béton, l'autre est une œuvre relativement modeste en pierres sèches avec une couche imperméable de béton (fig. 6).

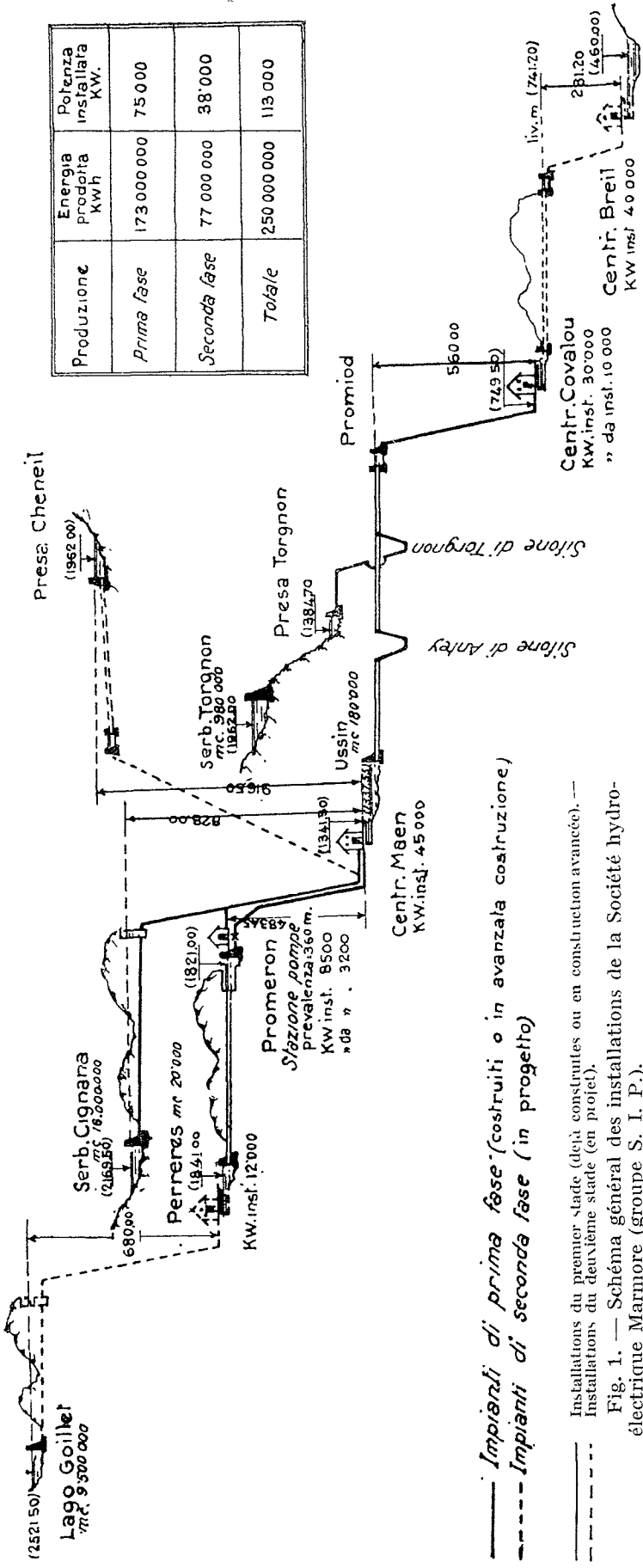
La diversité de ces structures est due aux conditions géologiques ; la digue en béton est posée sur une roche amphibolique compacte, avec quelques intercalations de veines schisteuses.

La deuxième est construite en grande partie sur un terrain glaciaire compact et seul le revêtement en béton repose sur la roche. Les conditions planimétriques (fig. 7) de ces travaux sont dues à ces conditions de fondation.

Au point de vue hydrologique, le bassin fermé par le barrage est de 12.960 km² et sa capacité utile est de 16 millions de m³. En année normale, le débit naturel du torrent de Cignana n'est pas suffisant pour remplir le réservoir ainsi qu'il résulte d'une longue série de mesures de débit du torrent qui permettent d'attribuer à une année moyenne un débit cumulé d'environ 13 millions de m³.

Malgré cela, à moins d'une sécheresse exceptionnelle, le remplissage du lac est assuré par l'installation de pompes de Promeron (fig. 2), placée à l'altitude de 1.820 mètres qui apporte l'eau provenant d'une dérivation du torrent Marmore, près de Perrères.

Dans l'usine de Maen (fig. 9) on utilise deux chutes : celle



Installations du premier stade (déjà construites ou en construction avancée). --- Installations du deuxième stade (en projet).
 Fig. 1. — Schéma général des installations de la Société hydro-électrique Marmore (groupe S. I. P.).

de Cignana de 828 mètres, et l'autre de Perrères, de 480 m. 70. La puissance totale installée est de 45.000 kw.

La grande digue mesure au couronnement 401 m. 78 (fig. 10), sa hauteur maximum, au-dessus des fondations en aval, est de 58 mètres et son volume résultant de 153.000 m³ environ.

Le profil est du type triangulaire (fig. 11); la pente amont est de 0,05, celle aval de 0,7, jusqu'à 38 m. 5, sous la ligne de crête et devient ensuite de 0,8; sur la partie supérieure, le couronnement a une épaisseur de 5 mètres, il est raccordé à la pente de 0,7 avec un arc de cercle de 22 m. 66. Le fruit est de 3 m. 50. La cote de concavité maximum se trouve à 2.169 m. 50 d'altitude.

En plan, la digue est légèrement arquée avec un rayon de 950 mètres.

Comme éléments de calcul, on a pris, pour la maçonnerie, un poids de 2.300 kg./m³, eau 1.000 kg./m³, sous-pression égale aux deux tiers de la charge d'eau, pression de la glace 11 tonnes-m.

La pression maximum principale au pied du barrage atteint une valeur de 14,5 kg./cm² sur le parement aval le réservoir étant plein, et 12,46 sur le parement amont, le réservoir étant vide.

Dans la considération de la concomitance des forces provenant de la pression hydrostatique, de la glace et de la gravité, la sollicitation résultante maximum sur la partie amont est toujours une compression avec une valeur de 0,3 kg./cm².

Dans la construction, à cause de la position particulière de la base aval, qui permettait un encastrement solide, on a substitué à la prise de base un tampon solidement encastré contre les parois de la roche.

Le barrage est muni d'un système complet de drainage à proximité du parement amont, constitué par des tuyaux verticaux de 50 cm. de diamètre et espacés de 4 m. 30, reliés à trois galeries d'inspection dont deux horizontales à l'altitude de 2.169 m. 50 et 2.144 m. et l'autre qui suit la roche de fondation.

Ce système de drainage fut modifié à sa partie haute en réduisant le tuyau au diamètre de 20 cm. et la distance de 3 m. 75 entre axes.

D'après le projet, la digue aurait dû avoir une seule rangée de joints de contraction tous les trente mètres; mais, pendant la construction, il parut nécessaire, sur la partie supérieure de l'œuvre, de fractionner les tronçons de 30 m. pour mieux assurer le retrait de la prise qui atteignait des valeurs plutôt élevées. La disposition faite ressort dans la figure 10.

Chaque joint à proximité du parement aval a un puits d'inspection vertical communiquant avec les galeries longitudinales.

La particularité constructive du système de drainage et des joints de contraction sera stipulée plus loin.

La digue en pierres sèches est à base curviligne de 79 m. 89 de rayon et mesure, sur le couronnement, 109 m. 65. La largeur maximum de la base de fondation est de 15 m. 50.

Elle a une section trapézoïdale (fig. 12); le parement amont a une pente de 0,7 et celui aval de 1,5 : celui-ci a des gradins de 0 m. 90 tous les 4 m. de hauteur.

Le fruit est de 3 m. 50. L'épaisseur au sommet 3 m. 20.

Le parement amont est protégé par une couche de béton sur laquelle est posée une toile de jute imprégnée d'asphalte, protégée par un enduit en béton armé, suivant les dispositions reproduites dans la figure 12.

Les œuvres de prise d'eau et du déversoir se trouvent dans le corps de la digue en béton (fig. 7 et 10).

La prise d'eau est constituée par un tube de 1 m. 50 de diamètre, placé à l'altitude 2130, c'est-à-dire 39 m. 50 au-dessous

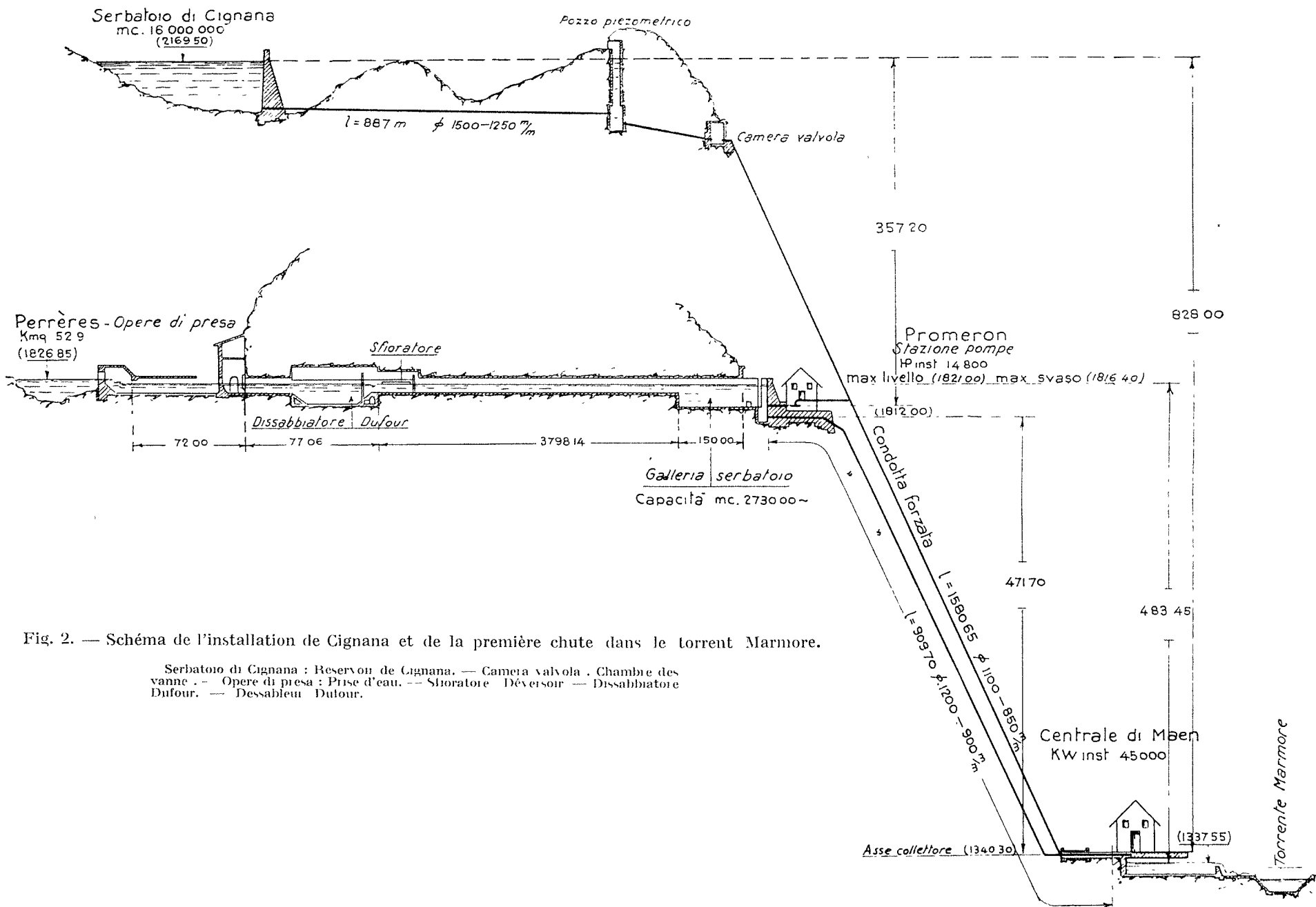


Fig. 2. — Schéma de l'installation de Cignana et de la première chute dans le torrent Marmore.

Serbatoio di Cignana : Reservoir de Cignana. — Camera valvola : Chambre des vannes. — Opere di presa : Prise d'eau. — Sfiatore : Déversoir. — Dissabbiatore Dufour. — Dessablier Dufour.

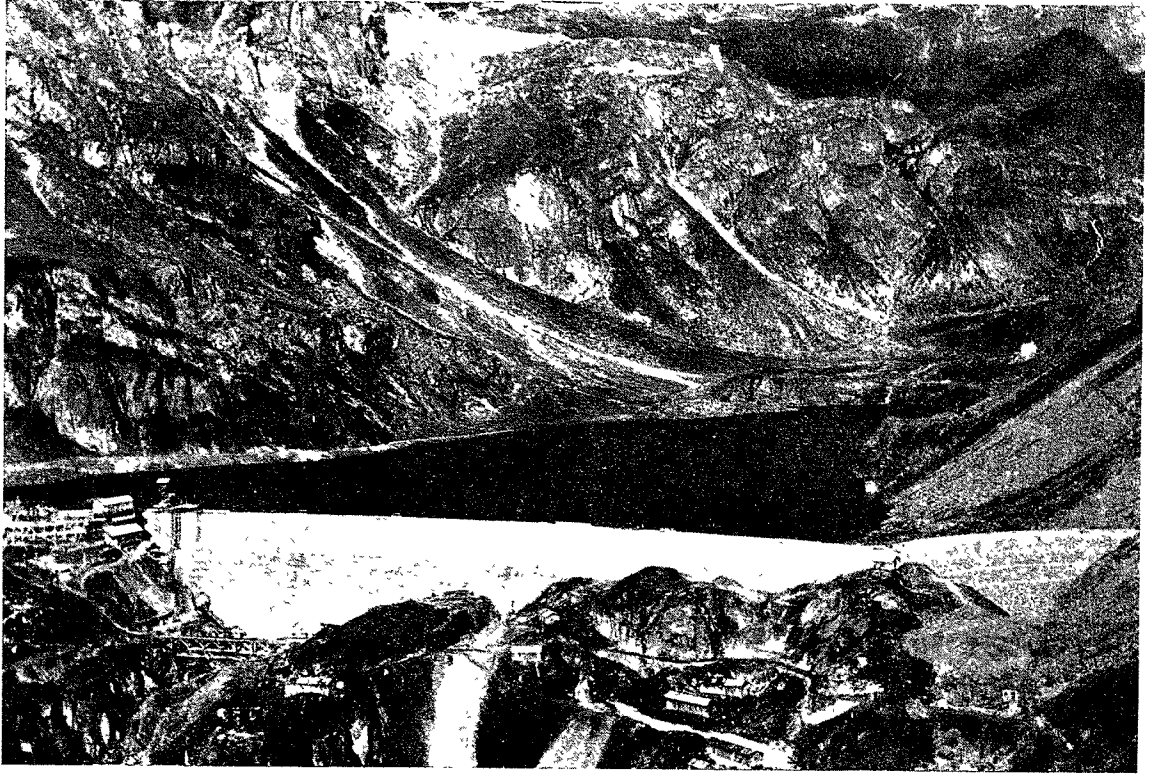


Fig. 3. — Barrage et lac de Cignana.

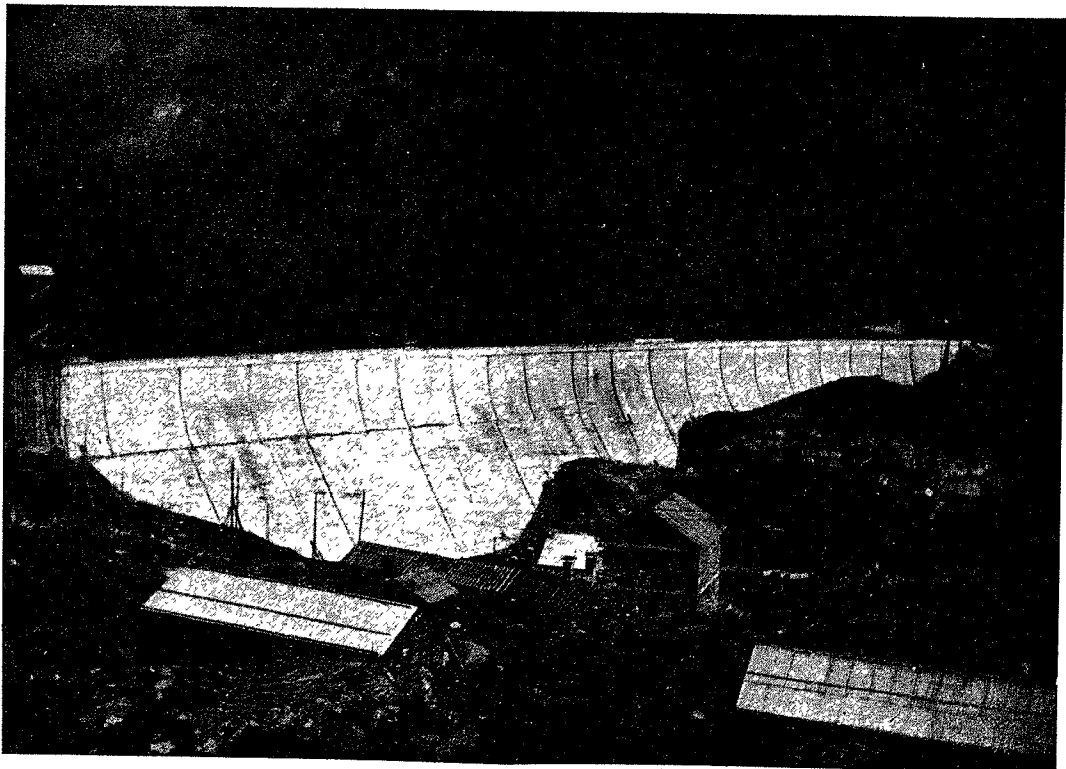


Fig. 5. — Le barrage terminé.

Fig. 6. — Le barrage à échelons et le côté gauche du barrage en béton : sur le parement du barrage à échelons, il manque l'enduit imperméable. Les bandes noires verticales, sur le barrage à gravité indiquent les joints de contraction.

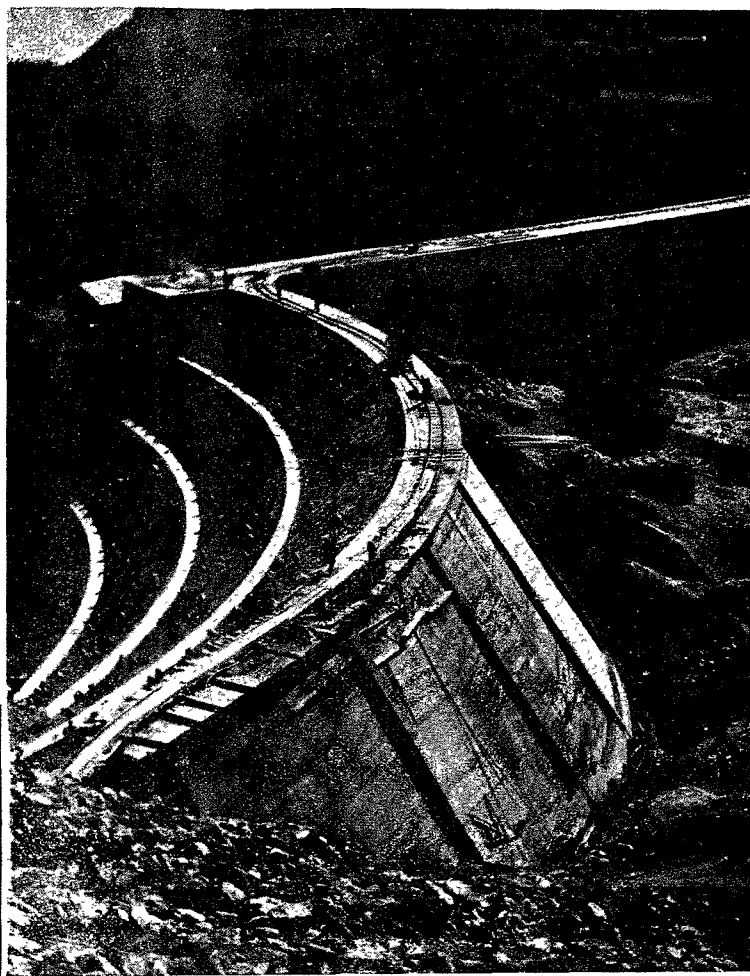
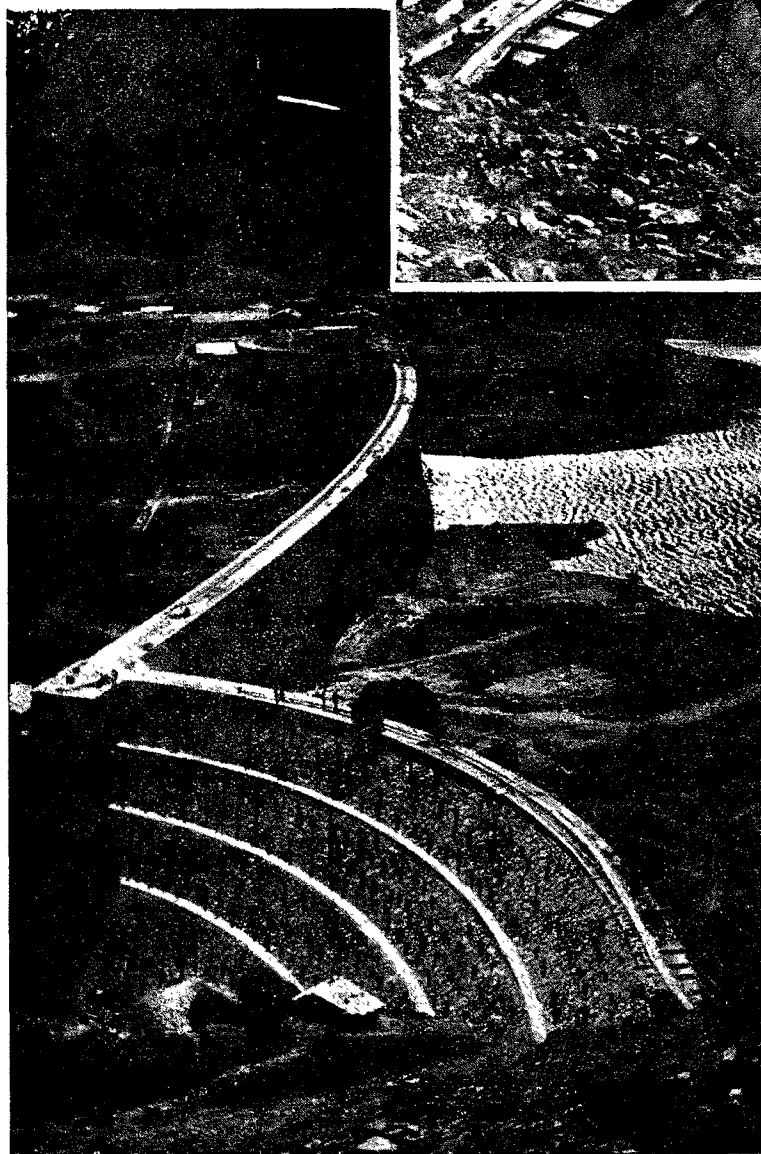
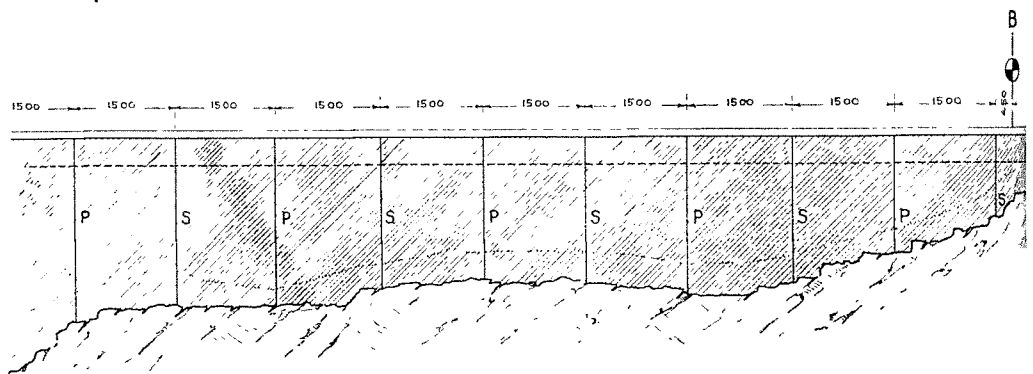
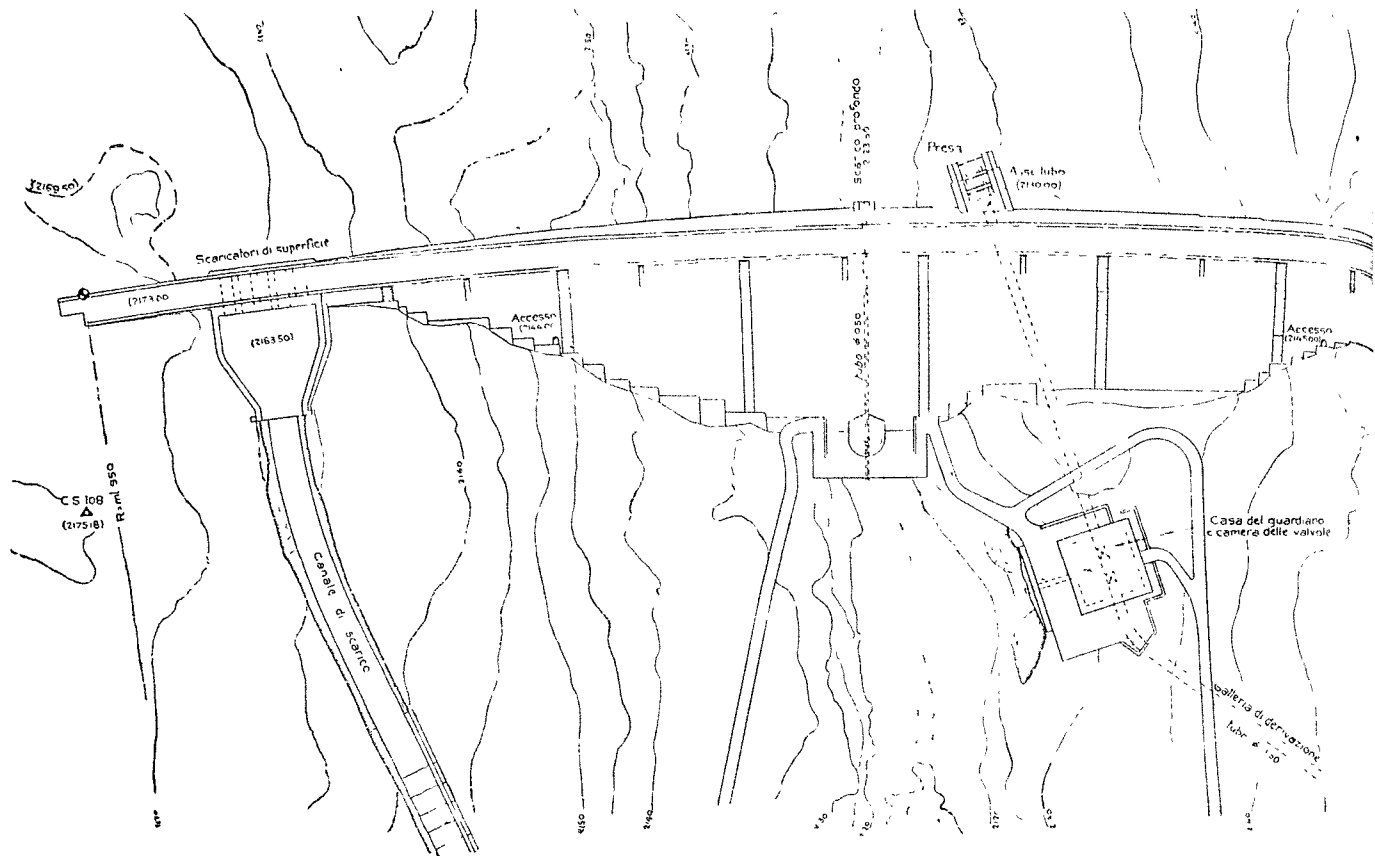
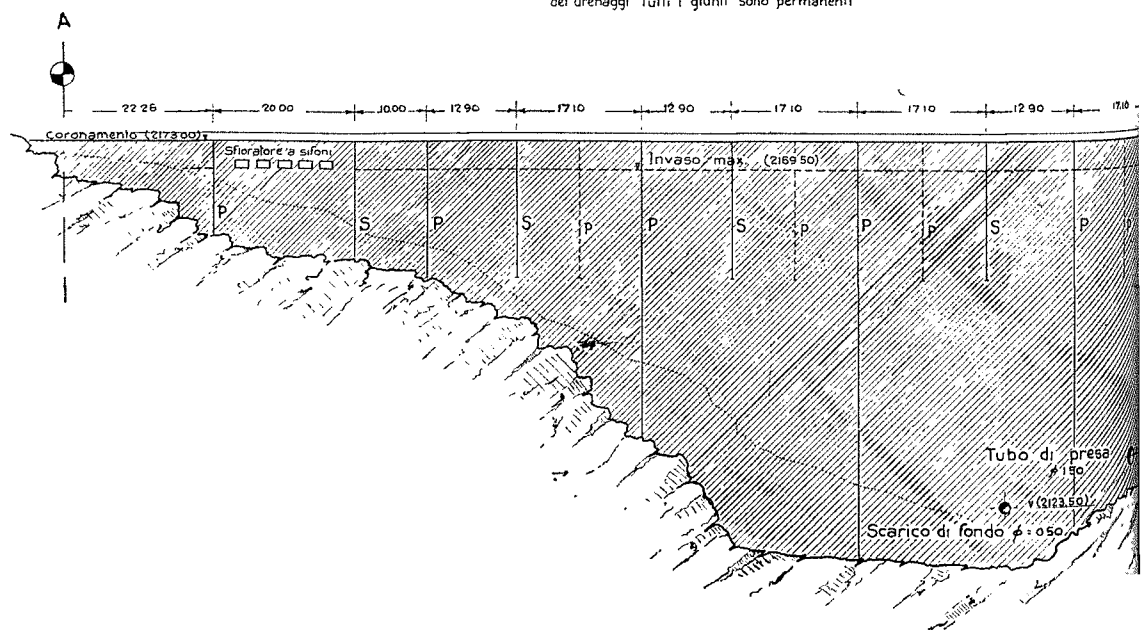


Fig. 4. — Vue d'ensemble du barrage de Cignana.



Tubo dello scarico d'alteggimento $\phi = 260$

Nota Le lettere PS p indicano rispettivamente i giunti principali, secondari e parziali. I primi due interessano tutto lo spessore della diga, gli ultimi soltanto la parte a monte fino al piano dei drenaggi. Tutti i giunti sono permanenti.



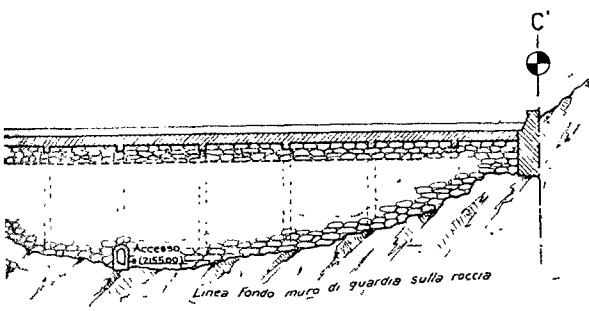
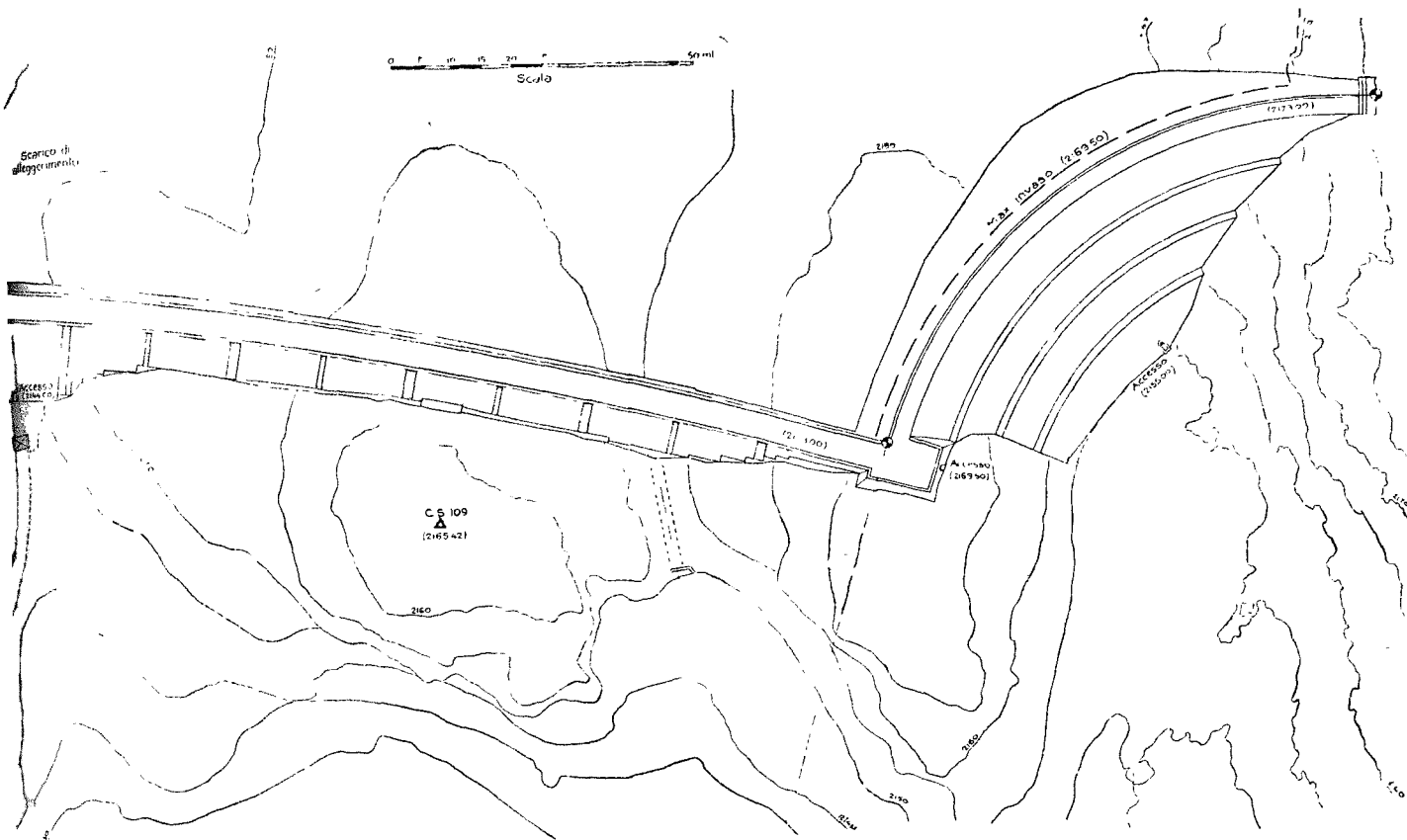
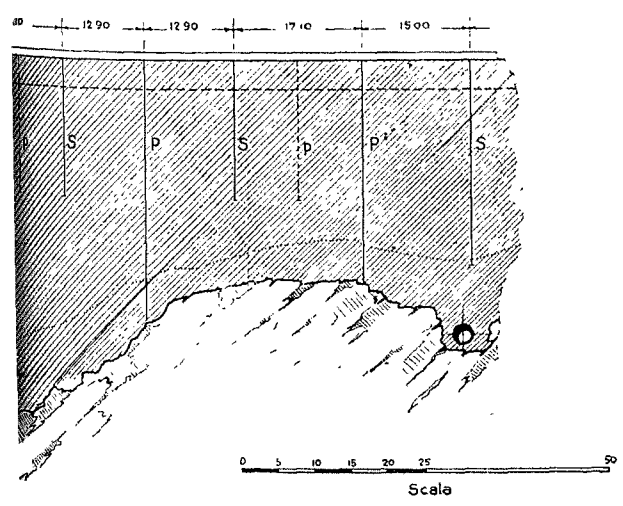


Fig. 7 et 10. — Barrage de Cignana.

Planimétrie générale et section longitudinale des deux digues le long des arcs de repère.

Développement en crête du barrage en béton.....	401 ^m 78
Développement en crête du barrage à sec	109 ^m 65
Développement en crête total.....	511 ^m 43

NOTA. — Les lettres P. S. p. indiquent respectivement les joints principaux secondaires et partiels. Les deux premiers intéressent toute l'épaisseur du barrage, les derniers seulement la partie amont, jusqu'au plan de drainages. Tous les joints sont permanents.



de la concavité maximum. Les organes de fermeture sont constitués par deux vannes à papillon de 1 m. 30 de diamètre situées le long de la conduite, un peu en aval du barrage. Entre les vannes est interposé un tube de décharge de 0 m. 80 de diamètre.

Les organes de décharge sont : un déversoir composé d'une batterie de cinq siphons automatiques, insérés sur la droite et pouvant déverser environ 90 m³/sec. ; un déversoir de secours, placé à la cote 2.146, constitué par trois valves à cloche Versina (fig. 13, 14, 15) à commande hydraulique, ayant chacune un

munication avec Maen, où passe la route carrossable Chatillon-Valtournanche, se faisait par deux moyens différents : un téléphérique capable de transporter environ 10 tonnes/heures et un plan incliné à double voie d'un débit de 25 tonnes/heures.

Ce plan incliné suivait parallèlement la conduite forcée et était subdivisé en deux parties avec une gare intermédiaire à Promeron ; la gare, se trouvant à 1 km. environ des chantiers du barrage, était reliée par une route munie de voie Decauville qui arrivait jusqu'au dépôt de ciment, auquel aboutissait aussi le téléphérique.

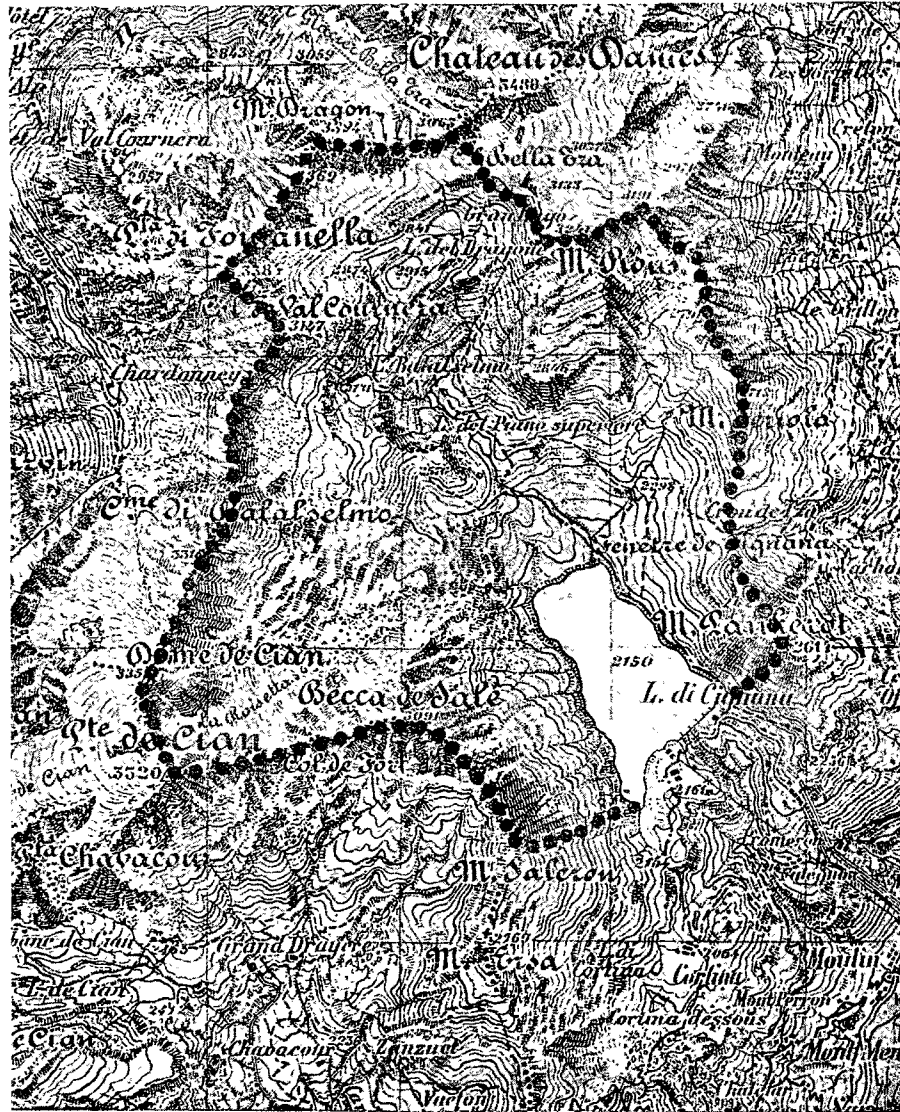


Fig. 8. — Carte des environs du lac de Cignana.

débit de 15 m³/sec. au maximum de crue : on peut ainsi abaisser le lac de 5 mètres en vingt-quatre heures. Les trois conduites faisant suite aux valves sont raccordées à une grosse tubulure conique de 1 m. 80 à 2 m. 60 de diamètre qui débouche dans une galerie. Vient ensuite le déversoir de fond, formé par une conduite en tôle de 50 cm. de diamètre, traversant le barrage à la cote 2.123,50. En tout, on peut vider environ 150 m³/sec., correspondant à 11,5 m³/sec. par kilomètre carré.

II

INSTALLATION DES CHANTIERS

Les chantiers pour la construction du barrage se trouvaient sur la rive droite du torrent, à la cote 2.180 environ, et suivant les dispositions générales représentées sur la figure 16. La com-

Les installations pour la fabrication et la distribution du béton sont d'un intérêt particulier, installations qui furent prévues et érigées par l'entreprise M. Girola, d'un commun accord avec la Direction S. I. P. Les dessins des figures 17 et 18 sont très clairs et sur eux, on peut facilement voir les modifications que subirent ces installations pendant les années suivantes de travail.

En 1926, les matériaux pour le béton étaient tirés des bancs de Cignana (fig. 16 et 19), au moyen d'un excavateur à poche muni d'un trieur automatique du sable et du gravier. Les matériaux ainsi séparés étaient transportés aux silos se trouvant à 2 km. environ, par une voie ferrée unique dont le service était assuré par trois locomotives de 50 CV., tandis que deux autres de 70 CV. étaient employées pour manœuvrer les excavateurs. Avec cette installation furent excavés, triés et transportés environ 20.500 m³ de matériaux avec une moyenne de 250 m³

par jour (10 heures de travail par jour). L'allure fut imposée uniquement par le système de triage qui se montra insuffisant pour une production plus élevée.

augmentation moyenne horaire de 80 % par rapport à l'année 1926.

Les matériaux mélangés et préparés arrivant sur le lieu d'utilisation étaient versés dans un unique silos de petite capacité (100 m³ environ), qui alimentait à travers des trémies réglables, trois grands trieurs cylindriques à mailles de 15 à 70 mm. de côté. Les éléments supérieurs à 70 mm., en quantité négligeable, étaient transportés sur un transporteur à courroie et introduits dans un concasseur à mâchoires qui, après les avoir concassés, les rendait au transporteur pour les porter au reste du gravier. Le triage s'effectuait normalement sans eau, aidé quelquefois par des jets provenant de tubes perforés disposés à côté de chaque tamis.

Des trieurs, le sable et le gravier tombaient dans des fosses où puisaient les élévateurs qui portaient les matériaux à 15 m. et les laissaient tomber dans les silos respectifs, de capacité totale d'environ 300 m³. Successivement, les matériaux passaient à travers les mesureurs et six doseurs de volume, situés au-dessus des trémies d'alimentation des bétonnières.

Les doseurs étaient constitués par des chariots à mouvement alternatif horizontal et la quantité pouvait être réglée en variant

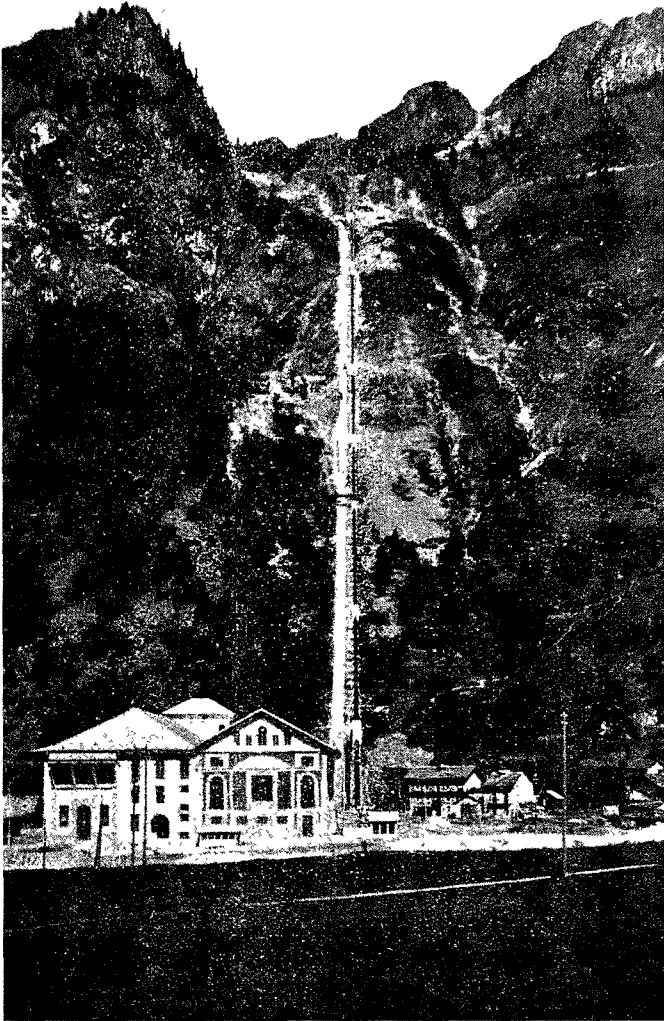


Fig. 9. — Centrale de Maen et conduite forcée de Cignana.

Il faut noter que l'excavateur de la maison Orenstein & Koppel, pouvait produire 90 m³/heure sans le triage des matériaux, production qui descend à 40 m³/heure avec le triage ; puis, à cause des fréquentes et laborieuses manœuvres de déplacement des rails et des difficultés de triage, la production s'abaissait jusqu'à la valeur moyenne de 25 m³/heure.

Avant de commencer l'année de travail 1927, l'installation fut sensiblement modifiée. Le travail uniquement d'excavation fut confié à l'excavateur Orenstein & Koppel. On a ajouté un excavateur à cuillère à plus grande mobilité dans le but d'intensifier l'approvisionnement et d'atténuer la variation des dimensions des grains du banc ; on a augmenté les moyens de transport avec l'installation d'un plan incliné ayant une capacité de 90 m³/heure, et on a installé le triage séparé en réalisant ainsi la disposition de la figure 20.

Enfin, on a établi deux équipes d'ouvriers travaillant chacune dix heures par jour ; par ce fait, on a dû installer l'éclairage électrique dans les chantiers.

Ces modifications, apportées avec une méthode rationnelle et des moyens sûrs et abondants, élevèrent le transport moyen journalier (dix-neuf heures de travail) à 850 m³, donc avec une

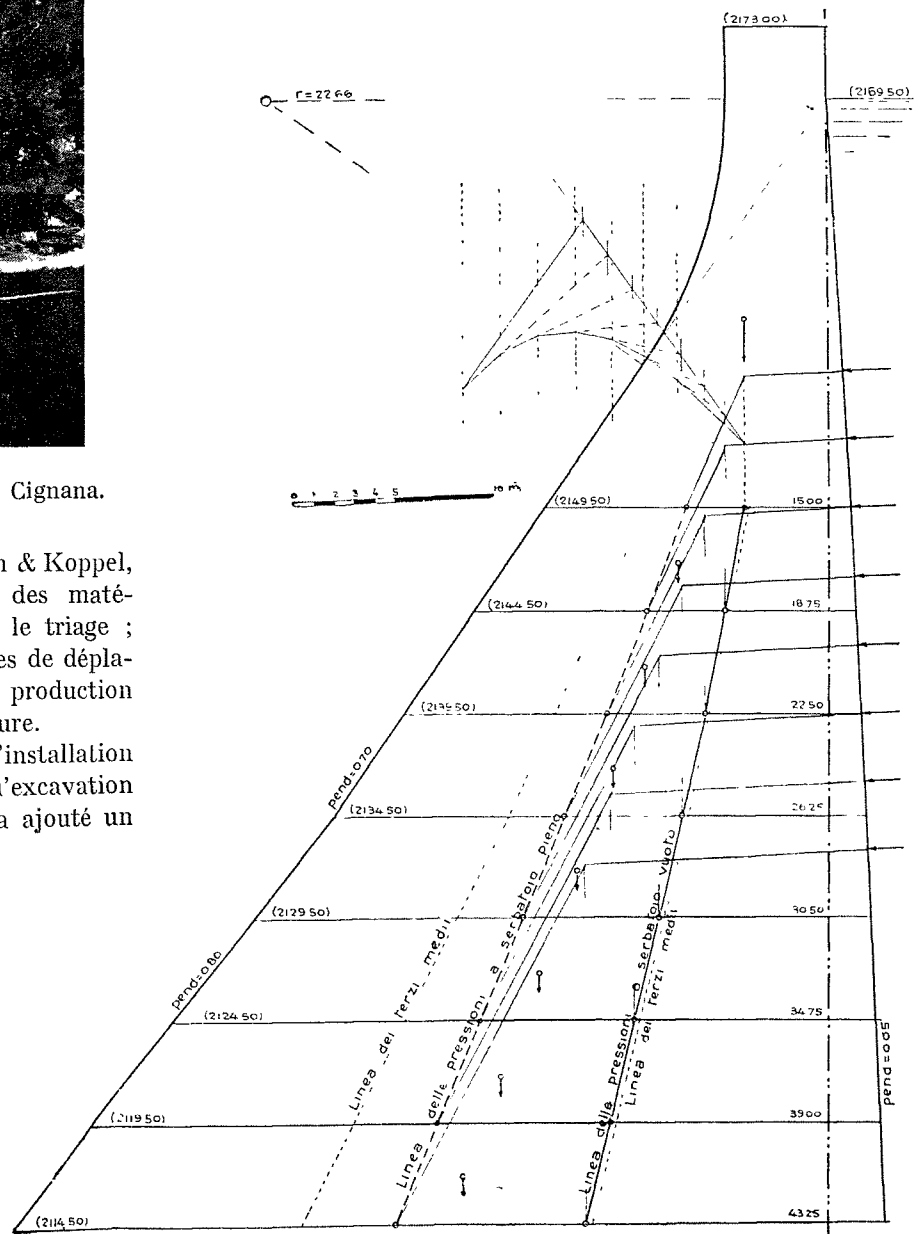


Fig. 11. — Section type du barrage en béton.

Linea dei terzi medi : Ligne des tiers moyens. — Linea delle pressioni a serbatoio pieno : Ligne de pression, réservoir plein. — Linea delle pressioni a serbatoio vuoto : Ligne de pression, réservoir vide.

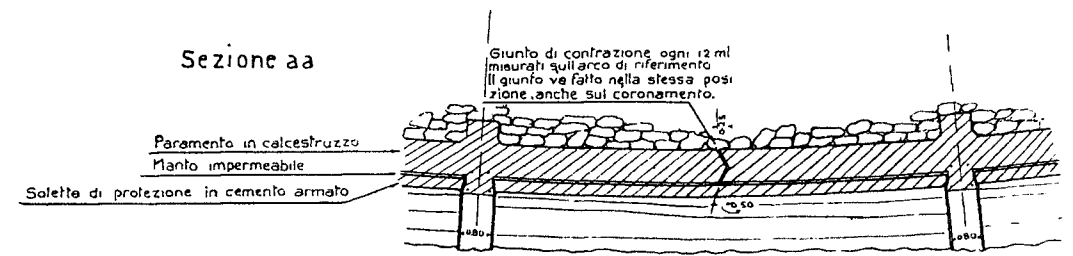
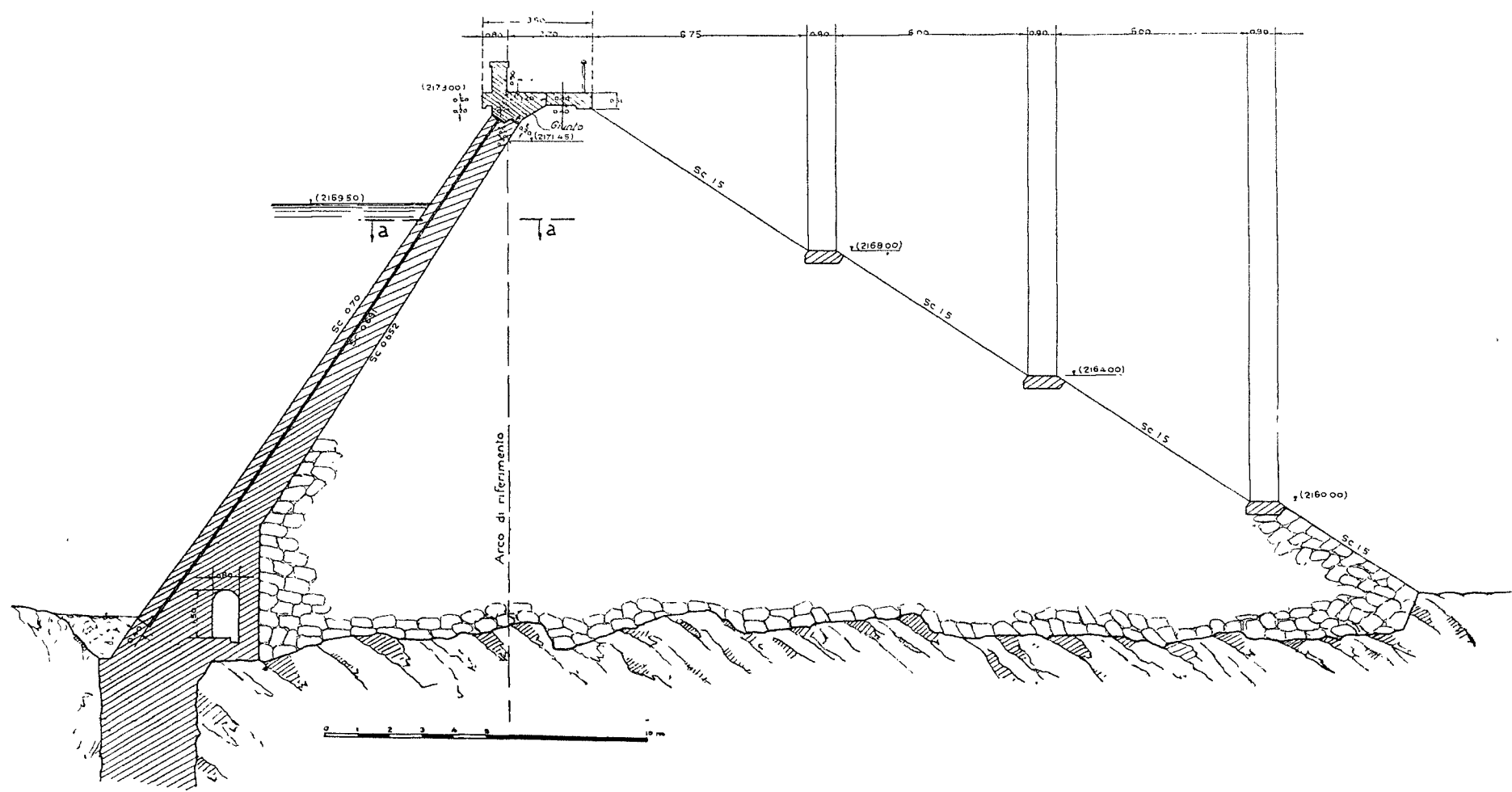


Fig. 12. — Section type du barrage en pierres sèches.

Arco di riferimento : Arc de repère. — Paramento in calcestruzzo : Parement in béton. — Manto impermeabile : Enduit imperméable. — Solette di protezione in cemento armato : Semelle de protection en ciment armé. — Giunto di contrazione ogni 12 ml. misurati sull'arco di riferimento. Il giunto va fatto nella stessa posizione, anche sul coronamento : Joints de contraction tous les 12 m. mesures faites sur l'arc de repère. Le joint se fait dans la même position pour le couronnement.

l'excentricité des manivelles de commande des chariots et l'ouverture des ajutages.

Il est à remarquer que le dosage du gravier se fit sans inconvénient, tandis que le dosage du sable, à cause des différentes

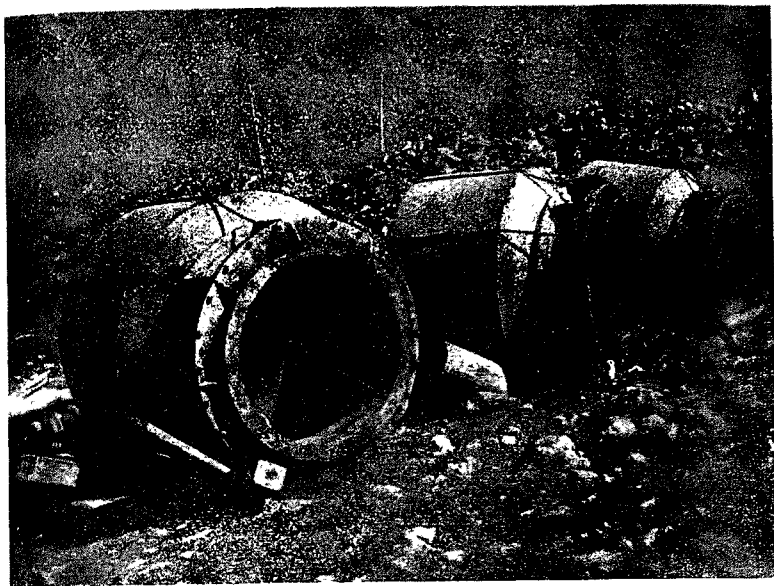


Fig. 13. — Vannes Verrina.

conditions d'humidité et de compression dans le silo, nous a porté à des écarts sensibles.

Le ciment, du dépôt de 1.000 tonnes où arrivait le téléphérique, était transporté par des wagonnets spéciaux le long d'un pont en bois, et était introduit dans le silos de 80 tonnes, placé à côté de ceux des matériaux triés. Une grande noria, installée dans un local spécial, situé au-dessus de celui des appareils de dosage, puisait le ciment du silo et, à travers des prises réglables, alimentait trois petites norias de dosage du ciment.



Fig. 14. — Une vanne Verrina démontée.

L'adjonction de ces norias se fit en 1927, et fut reconnue nécessaire pour un débit régulier du ciment aux bascules.

Le résultat fut très bon, puisque les écarts dans les pesées, à plusieurs reprises contrôlés, furent négligeables en pratique.

Les bascules Daverio étaient du système automatique (fig. 21), à contrepoids réglable et elles pouvaient assurer un nombre quelconque de pesées jusqu'à un maximum de 100 kilos chacune; chaque bascule avait un compteur de façon que l'on puisse faire un contrôle de la production à tout intervalle de temps.

L'eau de gâchage était introduite dans les bétonnières au moyen de trois réservoirs faisant partie de celles-ci et distribuée dans la conduite principale, qui aboutissait dans un bassin d'environ 100 m³, bassin alimenté par une pompe, qui distribuait aussi l'eau pour le reste des besoins des chantiers.

Chaque réservoir se remplissait automatiquement, et la capacité utilisable pouvait se régler en manœuvrant un secteur gradué.

Le cas n'était pas rare où l'humidité du sable atteignait une valeur telle qu'un supplément d'eau inférieur au minimum consenti par le règlement (50 litres environ) était nécessaire pour le gâchage; alors, le dosage devait être obtenu arbitrairement ou avec des expédients, ce qui entraînait des incertitudes dans les valeurs. Des compteurs d'eau permettaient pourtant de connaître l'eau utilisée à des intervalles déterminés.

Les bétonnières de la maison Kœring, au nombre de trois, comme il a été dit, avaient des ouvertures et fermetures automatiques, et chacune contenait environ 950 litres de gâchis, mais, en service, on ne dépassait pas 800 litres.

La production horaire des trois malaxieuses pouvait arriver sans efforts à 100 m³; en effet, on obtenait normalement 60 m³ heures avec deux bétonnières.

L'automatisme de tous les appareils de dosage aurait permis à une seule personne d'effectuer les manœuvres pour le fonctionnement d'une bétonnière; en pratique, on en employait deux, car il était souvent nécessaire d'aider le sable à sortir de la trémie du silo et plus souvent encore, de nettoyer la trémie d'alimentation de la malaxieuse.

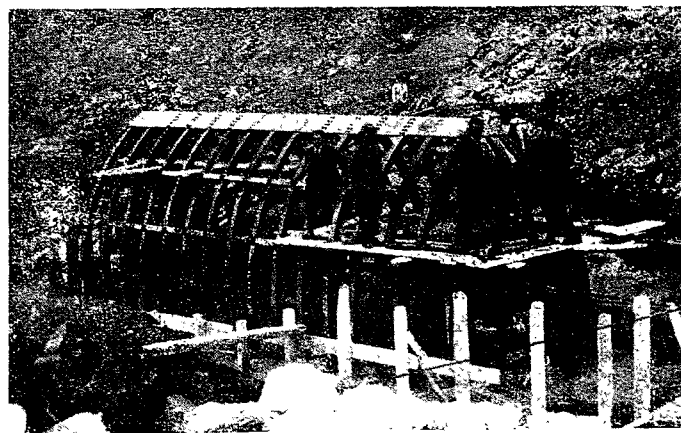


Fig. 15. — Les trois vannes Verrina sont protégées par une solide armature.

De la bétonnière, le béton tombait dans les trémies placées au-dessous et, de là, passait ou directement dans les wagonnets de transport, ou sur un canal en tôle jusqu'à la trémie placée à la base de l'élevateur.

L'installation pour la distribution du béton (fig. 17 et 22.) était constituée par des pylônes en fer à treillis, espacés de 11 m.

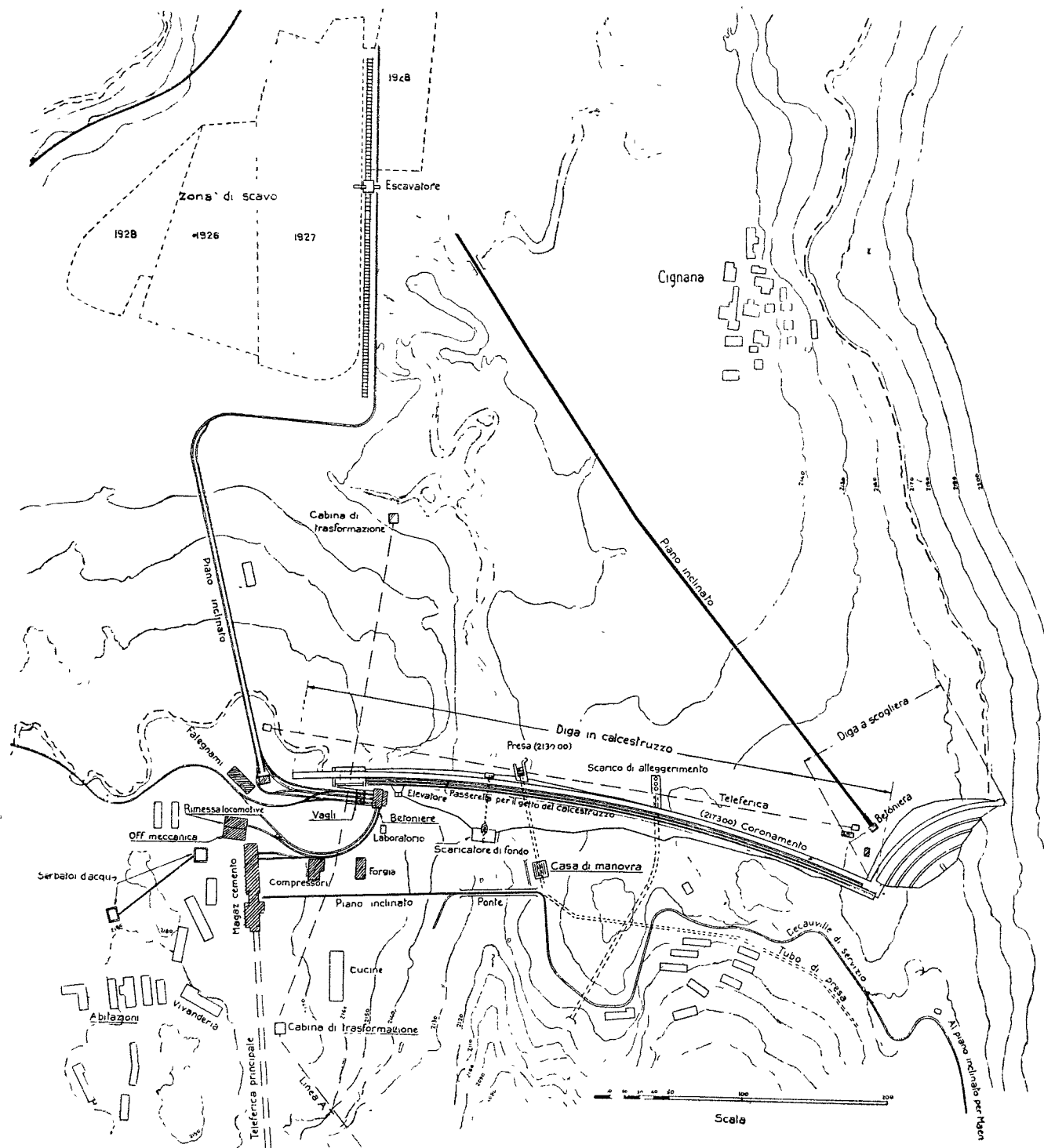


Fig. 16. — Disposition générale des installations des chantiers.

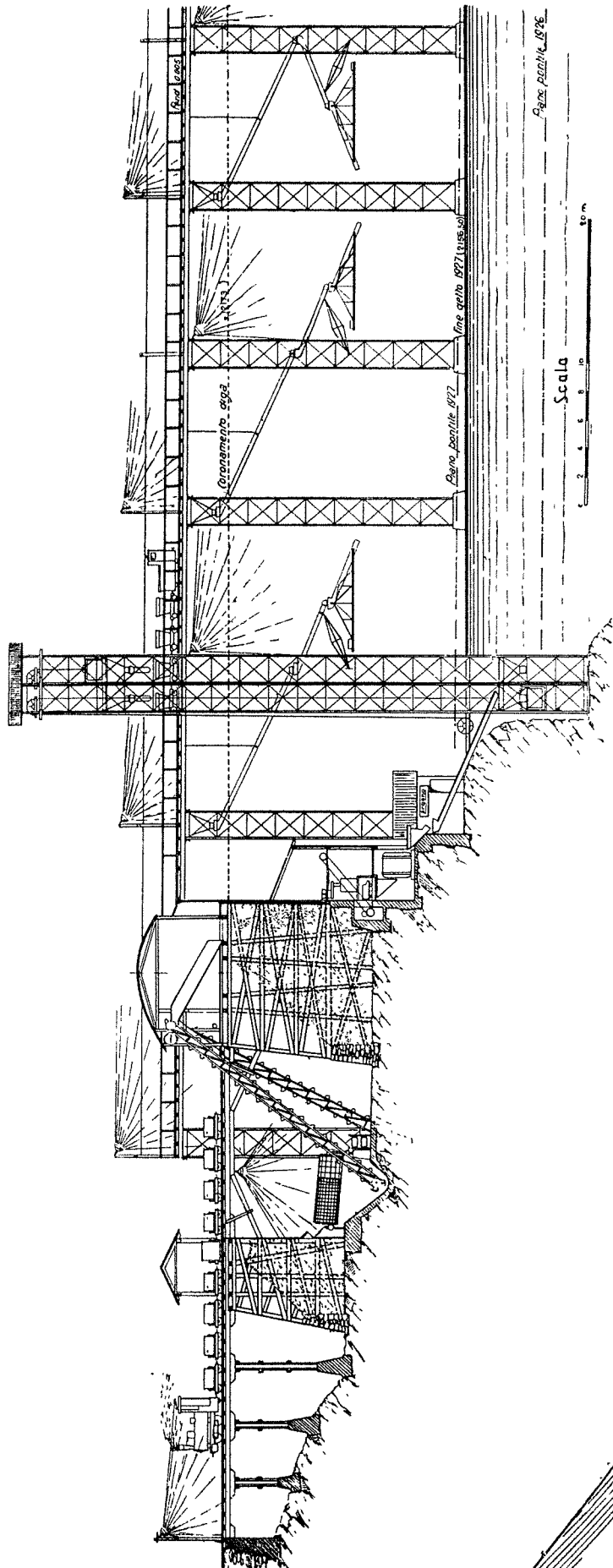


Fig. 17. — Section le long des trieurs et des bétonnières.

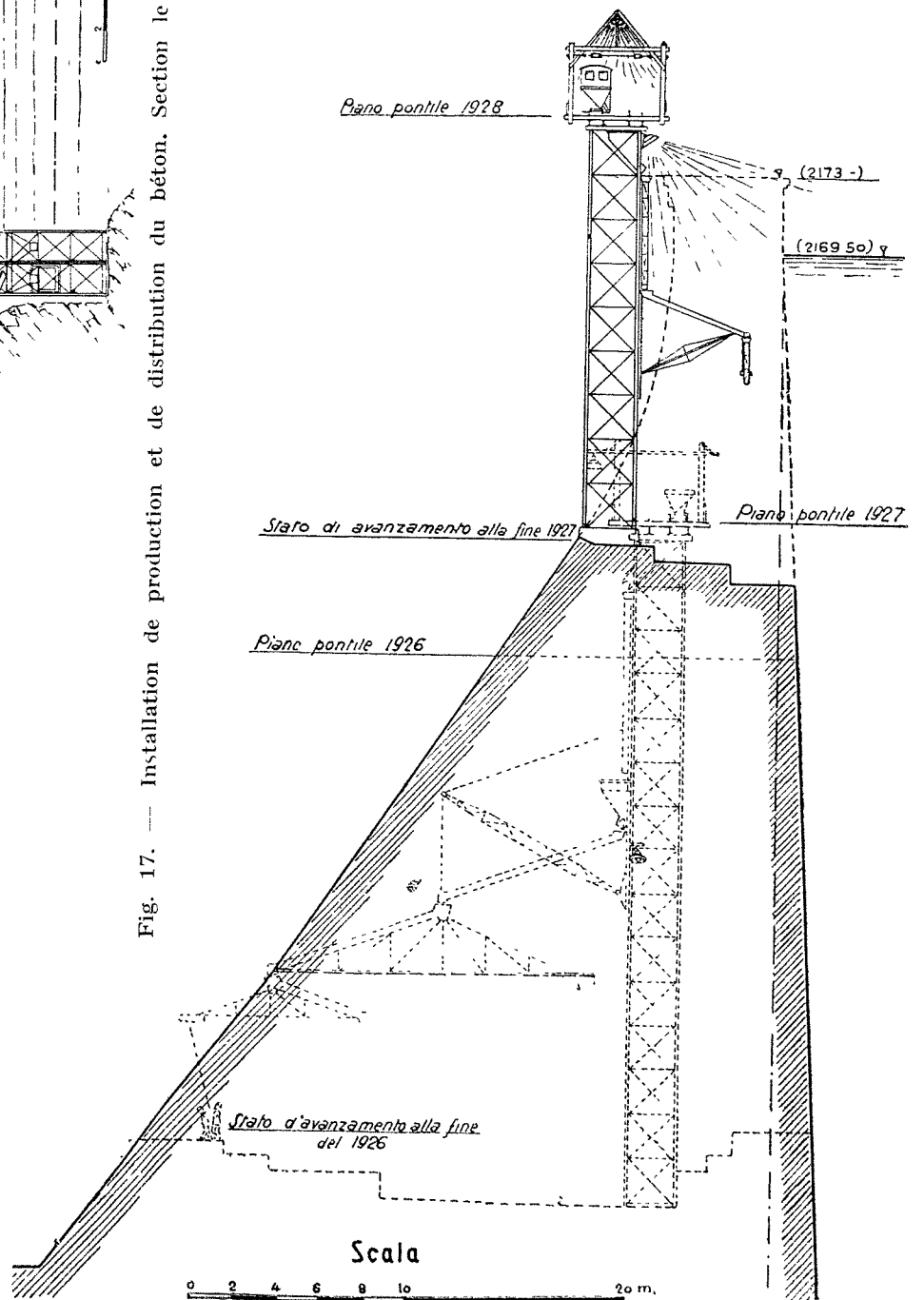


Fig. 18. — Passerelle pour la coulée du béton pendant les différentes années de travail.

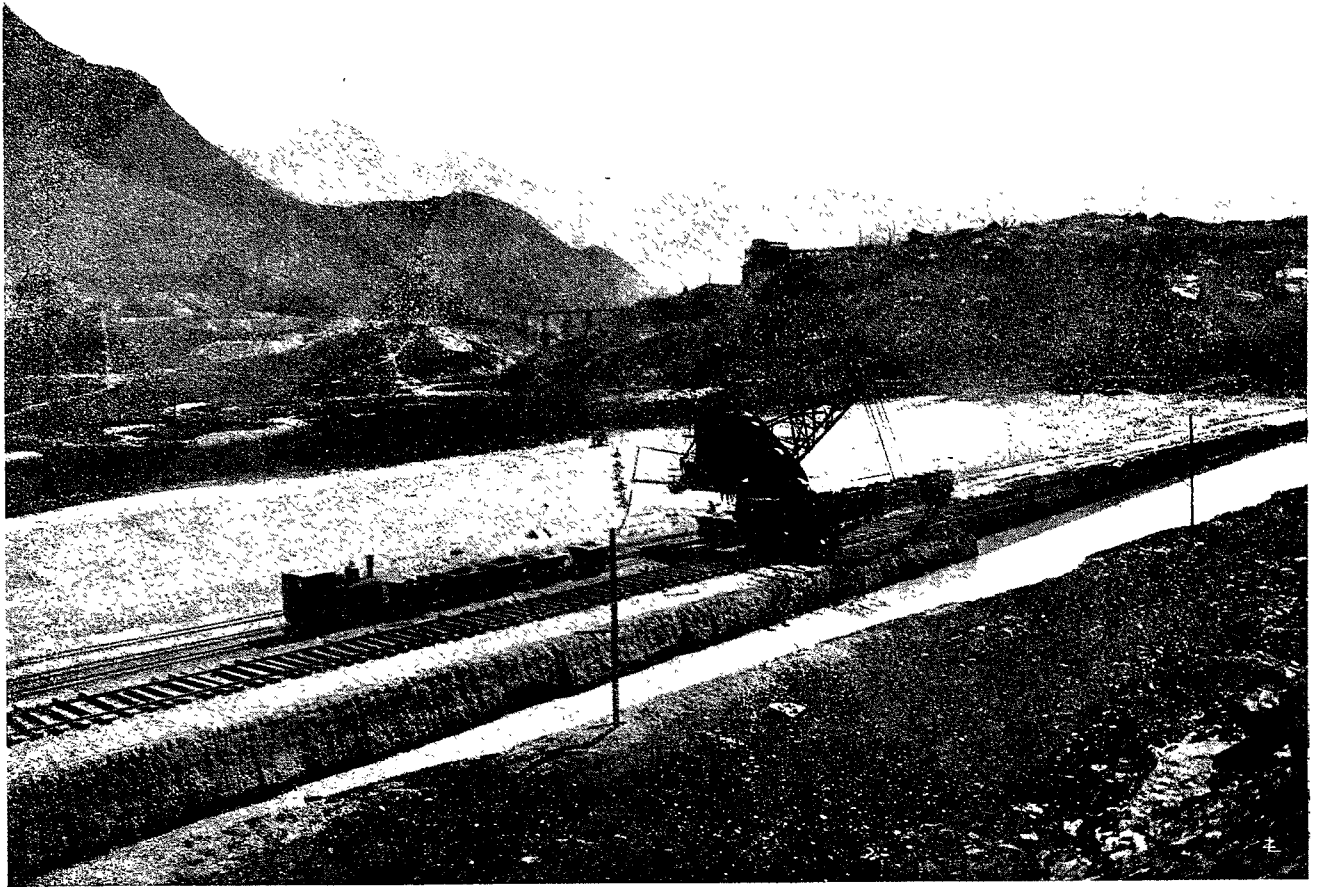


Fig. 19. — L'excavateur en fonctionnement dans la plaine de Cignana, pour l'approvisionnement du sable et du gravier. Au centre de la figure, on voit les premiers pylônes de la passerelle de distribution du béton ; à droite, passerelle sur la hauteur, le bâtiment aux silos.

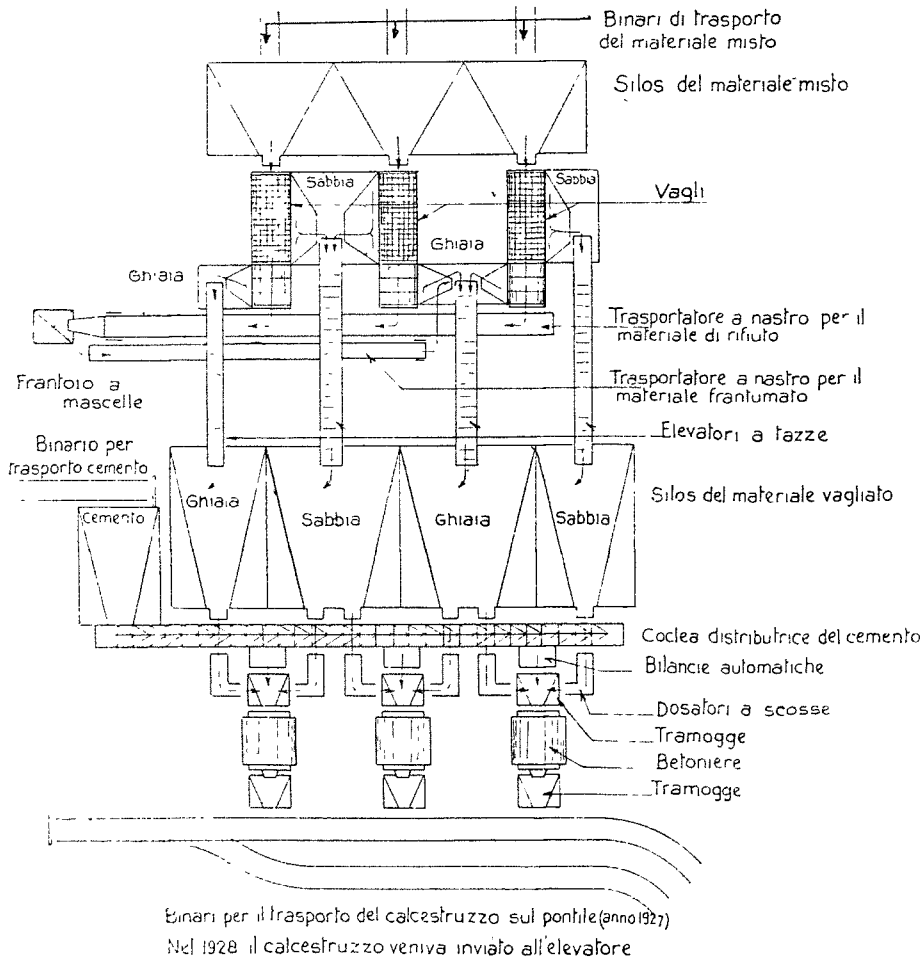


Fig. 20. — Schéma de l'installation de production du béton.

Sabbia : Sable. — Ghiaia : Gravier. — Vagli : Trilleurs. — Trasportatore a nastro per il materiale di rifiuto : Transporteur à bande pour les matériaux de rebut. — Trasportatore a nastro per il materiale frantumato : Transporteur à bande pour les matériaux concassés. — Tramogge : Tremis.

et soutenant une passerelle de 4 m. de large sur laquelle étaient posés des rails pour les wagonnets de transport, au-dessous du plan de passage se trouvaient des trémies qui recevaient le béton et le guidaient long des canaux de coulée soutenus par des grues Derrick. La mobilité de tout l'appareillage donnait la possibilité d'obtenir une grande uniformité de distribution du béton au sein de la masse fluide avec l'emploi d'un minimum de main-d'œuvre.

L'élevateur mécanique (fig. 23) qui servit, en 1928, à élever le béton, atteignait une hauteur de 38 m. ; il était muni de deux bennes d'une contenance de 900 litres chacune et avait environ une capacité de 100 m³/heure, deux paires de trémies se trouvaient en bas et en haut.

Le transport sur la passerelle se faisait à bras pendant les années 1926-27, tandis qu'en 1928, le parcours étant devenu important, soit 400 m. (fig. 24 et 25), les wagonnets étaient réunis par quatre et un locomoteur électrique Stigler de 6 C.V. effectuait le transport.

Habituellement, sur la passerelle, se trouvaient en service trois trains : un en charge, un en décharge et l'autre en mouvement. Chaque train transportait 4 m³ de béton.

Le chantier était complété par : l'installation pour l'air comprimé, la forge, l'atelier de réparation, la menuiserie, et les autres services auxiliaires, communs à tous les chantiers.

(A suivre.)

Traduit de l'*Energia Elettrica*, Déc. 1928, Janv. 1929.