

L'USINE ET LE BARRAGE DE FABRÈGES

par H. CHAMAYOU

Chef du Service de l'Énergie Électrique de la S.N.C.F.

I — GENERALITES

Avant de décrire les installations du barrage et de l'usine de Fabrèges, qui ont été mises en service définitivement en juin 1947, il paraît nécessaire de donner un rapide aperçu sur les installations antérieurement en service dans la Vallée d'Ossau où se trouve cette nouvelle chute, et de faire un bref historique de cet aménagement.

Cet historique présente un intérêt, car il permet de voir comment évolue la technique, et montre d'autre part, qu'une réalisation comme celle de l'équipement des vallées est une réali-

sation de très longue haleine, qui demande de la continuité, de la persévérance, et de nombreuses années.

Pour assurer l'électrification du réseau des Chemins de Fer du Midi, M. Paul, alors Directeur de la Cie des Chemins de Fer du Midi, avait dès avant la guerre de 1914, pensé à la création d'une chute dans la Vallée d'Ossau, qui aurait servi notamment à l'électrification de la ligne Bedous-Frontière, au même titre que la construction des Usines d'Eget, Soulom, La Casagne, Fontpédrouse, devait servir à alimenter les voies ferrées électrifiées de leurs zones respectives.



Gave du Brousset et route 134 bis en aval du pont de Fabrèges avant le débit des travaux.



Vue amont de la retenue dans la haute vallée d'Ossau à la frontière espagnole.

(photo Chaudrenneries des Pyrénées).

Dans le même but, étaient entreprises les études de la vallée de l'Ariège.

Dès le printemps 1913, M. Eydoux, alors chef du 4^e arrondissement de la Voie de la Compagnie des Chemins de Fer du Midi, à Tarbes, avait présenté le projet d'usine, dite usine du Soussouéou. En consistance ce projet était le suivant : prise d'eau sur le gâve du Soussouéou à la cote 1405, à la sortie du déversoir de la plaine du Soussouéou, restitution à la cote 800 à l'aval du confluent du gâve du Soussouéou et du gâve d'Ossau.

La puissance d'armement prévue de l'usine était de 24.000 ch.

A la suite de diverses remarques du Service

du Contrôle, la Cie du Midi envisagea un aménagement plus important comprenant :

- 1° une usine supérieure à 2 chutes : l'une, chute d'Artouste, l'autre chute du bassin supérieur du Bioux avec aménagement des réservoirs d'Ayous Bersaou,
- 2° une usine intermédiaire,
- 3° une usine inférieure.

Pendant les années de la guerre 1914-1918, diverses études sur le terrain et des mises au point sont réalisées, mais les efforts de la Cie du Midi se portent principalement sur les usines d'Eget et du Soulom. Enfin, le 18 mai 1917, le projet de l'Ossau est approuvé par le Conseil d'Administration de la Cie du Midi qui, à des

détails près, sera celui qui est réalisé et dont la différence essentielle avec le projet initial est la suppression de la chute du Bious, chute dont la S.N.C.F. entreprend d'ailleurs maintenant la réalisation.

L'autorisation ministérielle de commencer les travaux est donnée le 10 octobre 1919, et, dès le 12 décembre de la même année, le marché est signé avec l'entreprise Thévenot pour l'exécution des travaux d'aménagement des usines. La Direction de ces travaux est confiée à M. Leclerc du Sablon, Chef d'Arrondissement à Toulouse, sous les ordres de M. Godart, Ingénieur en Chef du Service à Paris.

Nous rappelons que cet aménagement comprend (Plan n° 1 et profil en long) en allant de l'amont vers l'aval : l'aménagement du lac d'Artouste, à la fois par percement du seuil naturel et par la construction du barrage de

23 m. 50 de hauteur. La réserve était ainsi portée à 23,5 M. de m³.

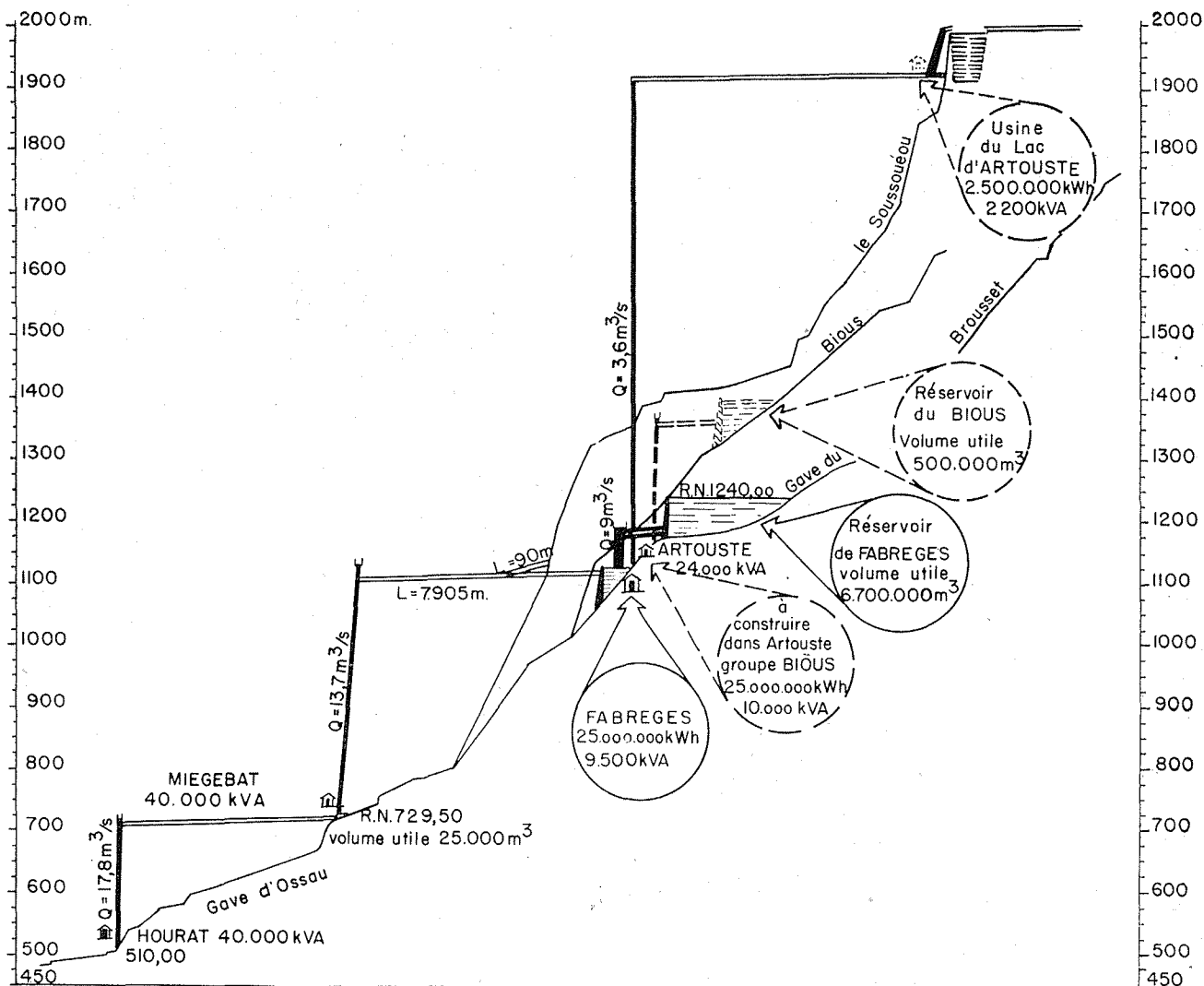
Un canal d'amenée à écoulement libre amène l'eau du lac d'Artouste à la chambre d'eau de Sagette au-dessus de la vallée du Brousset, d'où elle alimente par 3 conduites forcées les 3 turbines Pelton de l'usine d'Artouste sous une hauteur de chute nette de 746 m.

Cette eau, dont le débit est augmenté par les apports des affluents rive gauche et rive droite, alimente ensuite deux usines : Miégebat - chute nette de 380 m. - 40.000 kva - Le Hourat - chute nette 244 m. - 40.000 kva.

Les trois usines sont mises respectivement en service :

- Le Hourat en juin 1925,
- Miégebat en février 1927,
- Artouste en décembre 1929.

Cet ensemble était en son temps une des réa-



Profil en long des aménagements de la vallée d'Ossau.

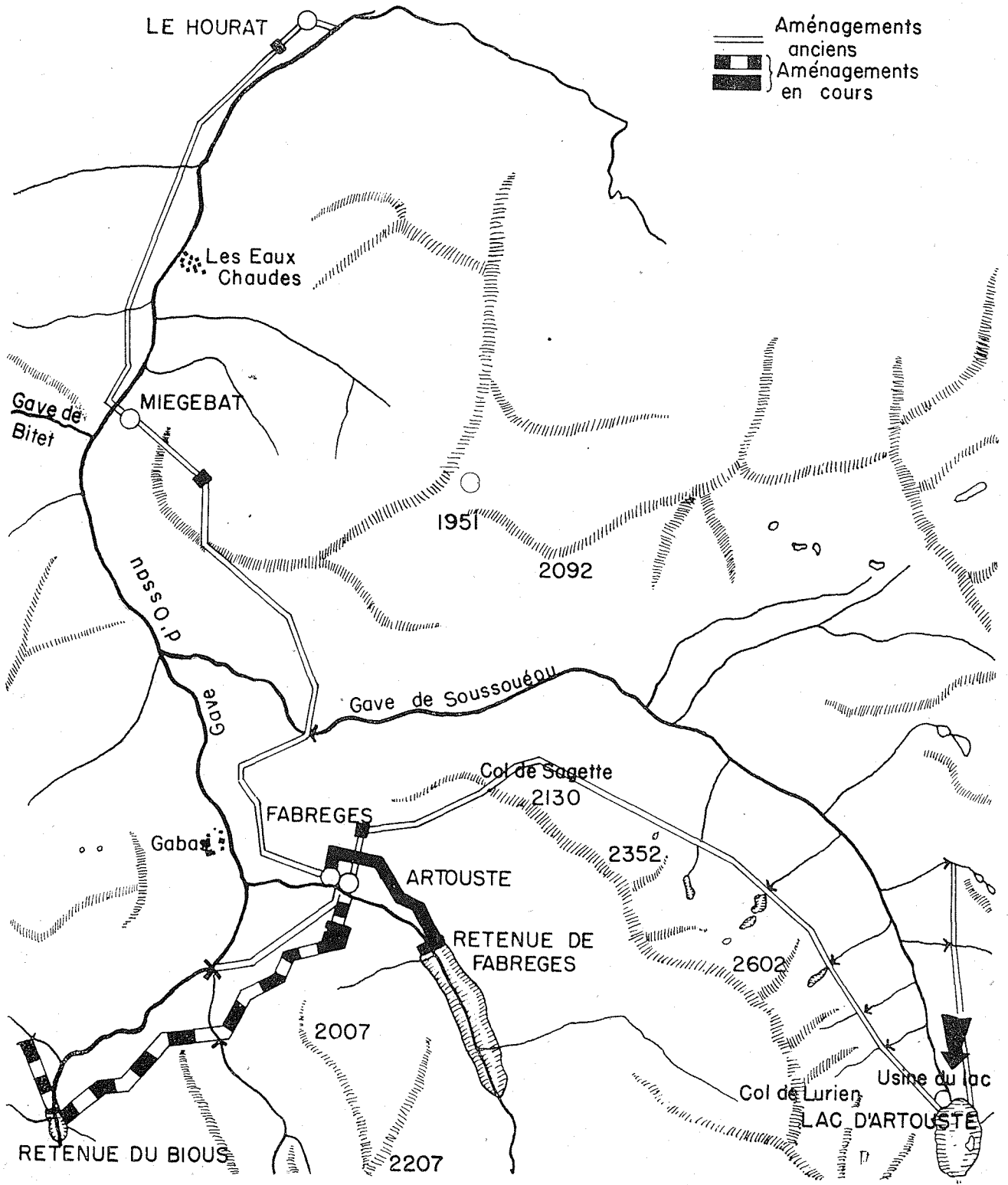


Fig. 1. — Plan des aménagements de la vallée d'Ossau.

lisations les plus intéressantes d'Europe. Alors que, jusqu'ici, les aménagements hydrauliques destinés à alimenter les usines particulières avaient consisté à choisir dans les vallées la section à pente la plus forte et à l'équiper pour le débit d'étiage, de façon à disposer d'une puissance constante pendant toute l'année, l'équipement de la vallée d'Ossau constituait l'aménagement complet d'une vallée avec utilisation de toutes les ressources hydrauliques, régularisation annuelle par le jeu du réservoir d'Artouste et régularisation journalière par le jeu des réservoirs du bassin des Allias à la sortie de l'usine de Miègebat.

Après 1930 en France, l'équipement des chutes subit une éclipse.

Par ailleurs, les conditions techniques évoluaient, notamment du fait de la réalisation de l'interconnexion généralisée permettant l'utilisation maximum de l'énergie disponible, la régularisation pouvant être faite à grande distance, soit par le jeu de bassins hydrauliques de caractéristiques différentes, soit par l'intervention de centrales thermiques.

Les mêmes causes produisant les mêmes effets, la fièvre de construction, qui s'était ouverte en 1912, se reproduisait en 1938 à la veille de la guerre de 1939-40.

Les constructeurs de chutes de la S.N.C.F., qui n'avaient jamais abandonné leur métier, mais qui s'étaient surtout occupés d'études, renouaient la tradition commencée par les pionniers d'avant la précédente guerre. Cette reprise devait aboutir, entre autres réalisations, à la construction dans la Vallée d'Ossau, du barrage et de l'usine de Fabrèges.

Ainsi que nous l'avons dit, l'aménagement de cette vallée, conçu à l'origine avec une très grande largeur de vue, laissait toutefois place à un certain nombre d'améliorations. C'est ainsi que des trois gaves qui constituent le gave d'Ossau: Soussouéou, Brousset et Bioux, un seul était aménagé, le Haut-Soussouéou, grâce au lac d'Artouste, dont le bassin versant est malheureusement très petit.

Malgré les apports d'un certain nombre d'affluents du Soussouéou rive droite et rive gauche, les premiers recueillis par gravité grâce à un canal, les deuxièmes par une station de pompage située auprès du lac, le volume d'eau que l'on peut mettre en réserve est relativement faible.

Par ailleurs, le canal d'amenée de l'usine d'Artouste est à écoulement libre; l'eau met 2 heures pour se rendre du lac à l'usine, ce qui, en exploitation courante, ne permet pas d'utiliser la puissance installée dans les 3 usines d'Ossau d'une façon aussi instantanée que

les nécessités de l'exploitation le rendraient parfois désirable.

Enfin, le bassin versant du Brousset, à l'amont de l'usine d'Artouste, égal à lui seul à la somme des bassins versants du Soussouéou et du Bioux, n'était pas aménagé.

Il y avait là une quantité d'eau importante qui, soit à la fonte des neiges, soit au moment des crues d'orage, était perdue pour la production puisqu'il n'était pas possible de l'emmagasiner.

Il y avait même un ressaut d'une centaine de mètres permettant l'établissement d'une nouvelle chute.

Aussi en 1940, a-t-il été décidé de construire un barrage en un endroit de la vallée du Brousset particulièrement favorable, l'eau de ce barrage étant amenée par un canal d'amenée en charge au voisinage immédiat de l'usine d'Artouste en utilisant une dénivellation naturelle s'ajoutant à la hauteur créée par la retenue. C'est l'aménagement de Fabrèges.

On voit que cet aménagement répond à trois idées :

- 1° — barrer la vallée pour recueillir les hautes eaux de printemps, d'automne et même les apports des orages, assez fréquents dans la région, pour les reporter sur une période où l'énergie est rare et chère.
- 2° — créer une usine hydraulique utilisant cette eau sous une hauteur de chute intéressante.
- 3° — mettre à la disposition de la production la possibilité d'utiliser « au robinet » la puissance totale de l'ensemble des usines du Hourat, de Miègebat et de Fabrèges, soit environ 90.000 kva, appoint très précieux pour la régularisation du réseau général français et l'adaptation instantanée de la production à la consommation.

Le bassin versant à l'amont du barrage est de 61 km², il est situé à l'altitude moyenne de 1.870 m. et reçoit notamment les eaux de tout le versant Ouest du Pic du Midi d'Ossau et de la chaîne frontière France-Espagne dans les environs du Col du Pourtalet.

20 % de ce bassin versant sont boisés.

Le débit spécifique par km² est de 52 l/sec.

Le débit semi-permanent est de 2,8 m³/sec. et celui d'étiage de 0,4 m³/sec.

Les apports moyens annuels sont de 100 M. de m³,

déjà importants en mars : 8 Millions de m³
en avril : 12 Millions de m³

maxima en mai et juin : 18 Millions de m^3
 minima en août et sept. : 3,5 Millions de m^3

assez importants en hiver entre 5 et 8 Millions par mois.

La capacité du réservoir a été choisie de 7 Millions de m^3 pour pouvoir emmagasiner les débits supérieurs à la capacité d'absorption des usines d'aval.

Pendant les mois de mars, avril et mai, pendant lesquels les apports sont faibles dans les Alpes, tous les apports sont turbinés.

Le remplissage se fait largement pendant les mois de juin et de juillet.

Cette réserve est utilisée pour passer l'étiage d'été et régulariser ainsi la vallée, puis reconstituée en automne pour être mise en hiver à la disposition des besoins généraux du pays.

L'usine de Fabrèges utilise une chute nette normale de 105 m. correspondant à 11.000 ch. Elle permet de lâcher immédiatement 9 m^3/sec . Ce débit joint aux apports naturels du Soussouéou et du Bious permet de saturer complètement l'usine de Miègebat et partiellement celle du Hourat.

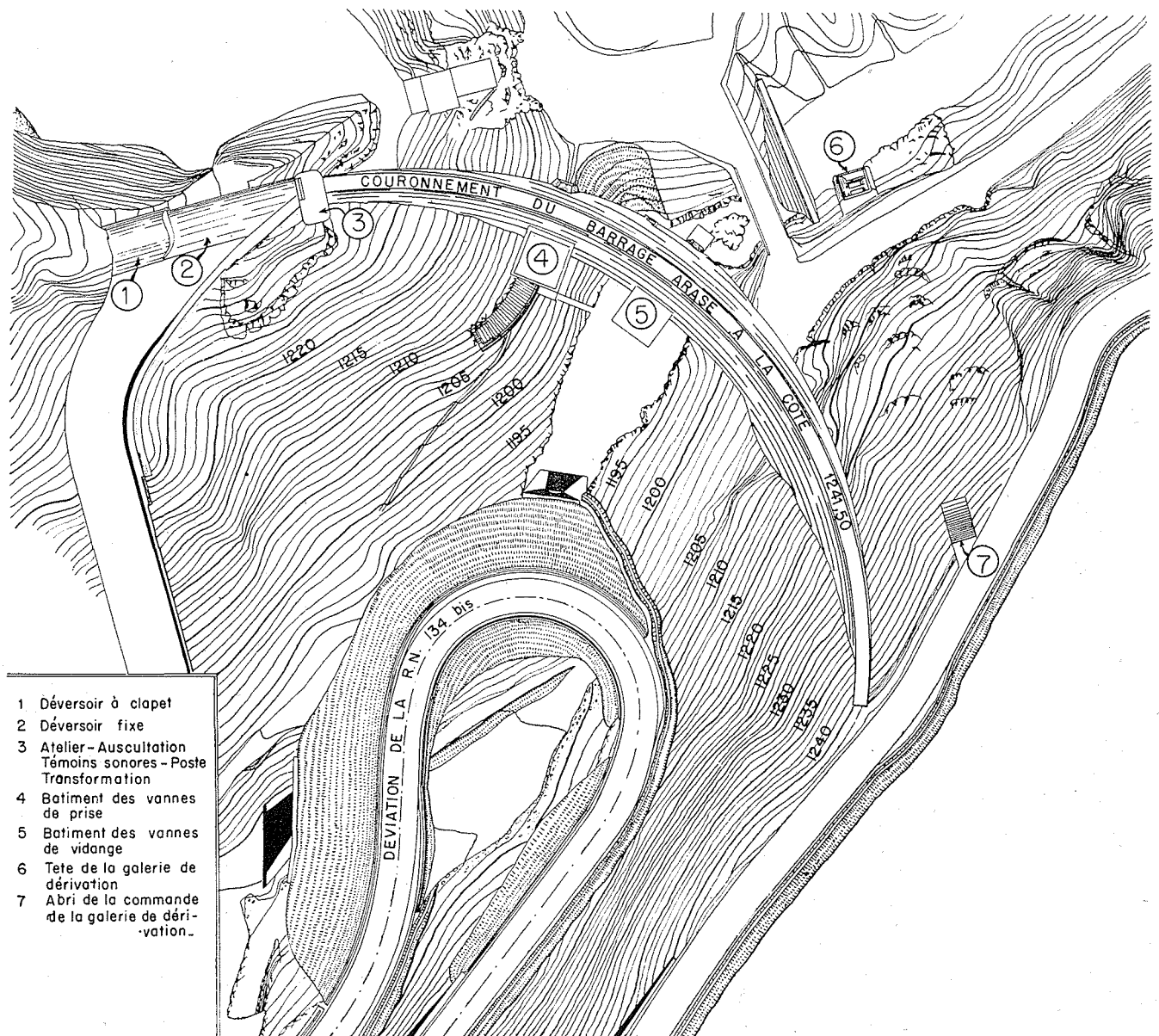


Fig. 2. — Implantation du barrage

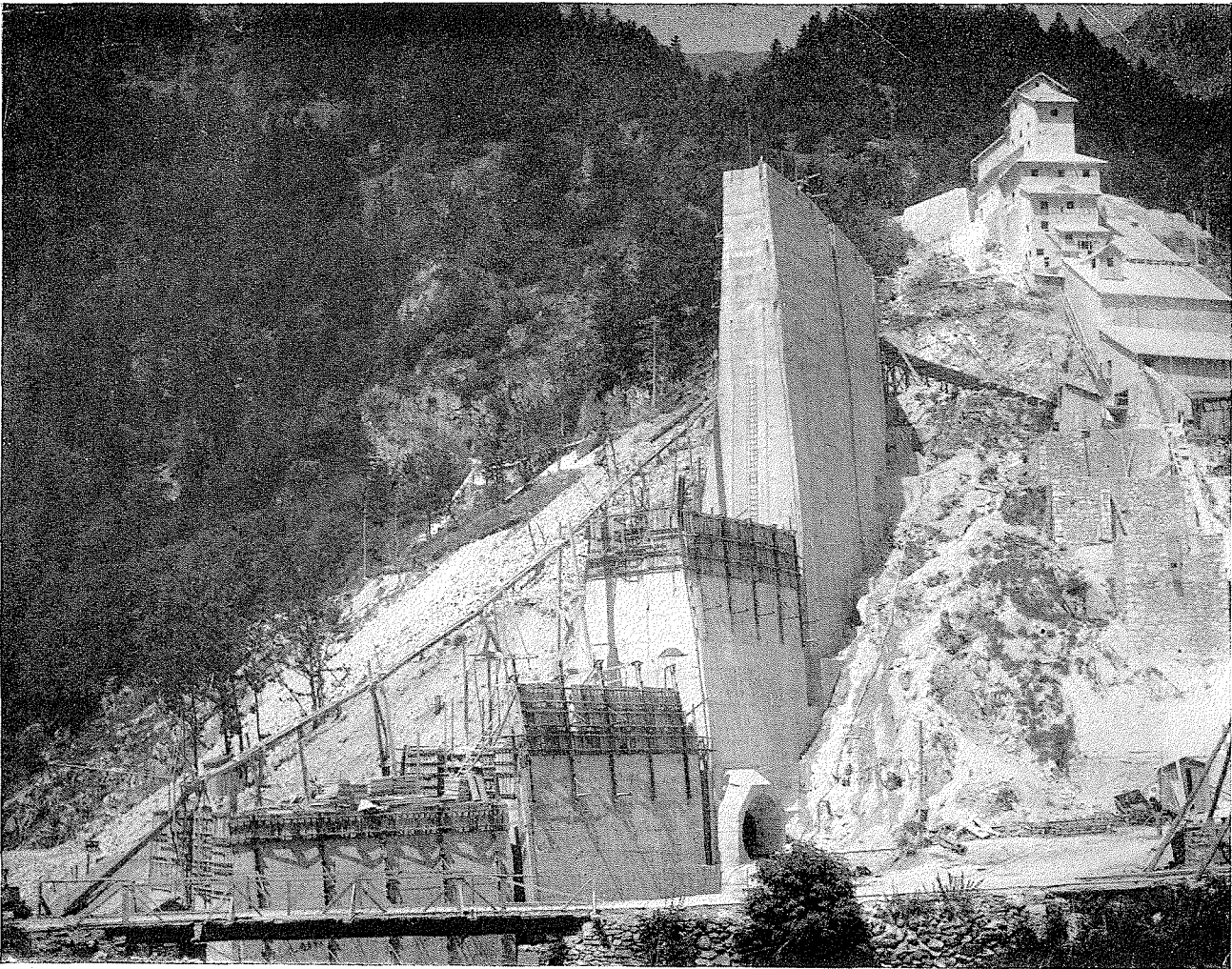


Fig. 3. — Le barrage en cours de construction. En haut à droite la station de concassage. Au premier plan, l'entrée de la galerie de prise.

La production atteint 50 M. de kwh, dont environ la moitié provient de l'usine de Fabrèges et l'autre moitié, par diminution de déversements, des deux usines aval : Miègebat et Le Hourat.

L'usine de Fabrèges, située à proximité d'Artouste, doit, du point de vue fonctionnement, être considérée avant tout comme le robinet d'alimentation des usines d'aval : elle restitue dans le bassin « des Allias » qui est le bassin de prise de l'usine de Miègebat.

Les installations sont prévues pour assurer cette fonction.

Au point de vue exploitation, elle est entièrement automatique, commandée par les besoins de l'usine de Miègebat; c'est-à-dire que, lorsque l'usine de Miègebat est amenée à fournir une puissance élevée, elle tire sur son bassin de

prise, le bassin des Allias, une quantité d'eau telle que le niveau de ce bassin baisse.

Automatiquement, l'usine de Fabrèges se met alors en route pour apporter le complément d'eau à l'usine de Miègebat. Ce complément d'eau travaille, en passant, dans la turbine de Fabrèges.

En sus de cette commande automatique, qui sera décrite plus loin, l'usine de Fabrèges peut être manœuvrée à distance depuis le tableau de l'usine d'Artouste par les agents de cette usine suivant le programme fixé par le répartiteur. Fabrèges peut, bien entendu, être également manœuvrée manuellement, sur place même.

Enfin pour tirer le meilleur parti du réservoir de Fabrèges, il sera installé dans la nouvelle usine un groupe de pompage de 1.800 l/sec.

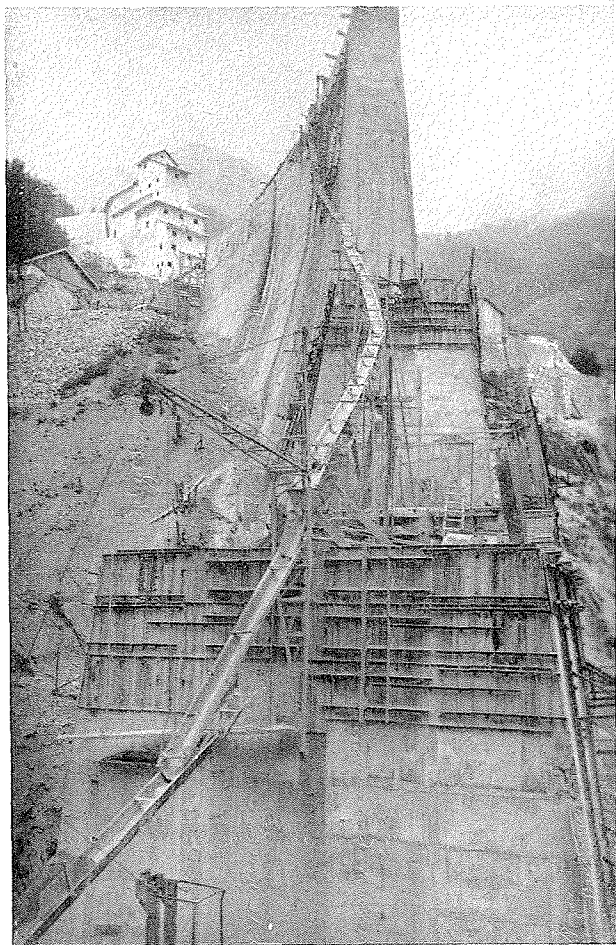


Fig. 4

Le barrage en cours de bétonnage. On remarquera les coffrages métalliques et les goulottes d'amenée du béton.

entraîné par un moteur de 3.000 cv. qui utilisera, en sens inverse les ouvrages d'amenée du groupe de Fabrèges.

En effet, si le réservoir de Fabrèges se remplit facilement au printemps, son 2^e remplissage en automne, pour disposer de la réserve maximum pendant l'hiver, est plus aléatoire. La région est en outre sujette à des orages assez fréquents au cours de l'été et de l'automne. Pendant ces périodes, les usines d'aval sont saturées. De plus, ces périodes pluvieuses étant souvent générales à toutes les Pyrénées et parfois communes avec le Massif Central, les possibilités de la production dépassent la consommation possible d'autant qu'elles sont de trop courte durée pour que l'on puisse remettre en route certaines usines d'électrochimie et d'électrometallurgie. Il y a donc un intérêt certain à mettre cette eau en réserve.

Or si le Brousset est désormais normalement retenu par le barrage de Fabrèges, les 2 autres

gaves qui constituent le gave d'Ossau : le Sous-souéou et le Bious ne le sont pas. Comme ils sont dérivés tous 2 dans le bassin des Allias, il a paru intéressant de repomper leurs apports de ce bassin dans le réservoir de Fabrèges.

Cette installation de pompage, qui a posé quelques problèmes intéressants, sera décrite ultérieurement.

II — LES OUVRAGES DU GENIE CIVIL

Description des ouvrages :

Barrage : le barrage est la pièce maîtresse de l'ensemble d'ouvrages qui constitue la chute de Fabrèges.

C'est une voûte pure de 51 m. de hauteur, de 163 m. 65 de longueur en crête et de 83 m. de rayon moyen. Son épaisseur maxima à la base est de 12 m. 456 et son épaisseur en crête est de 2 m. 50. Il a été établi pour une retenue limitée à la cote 1240. Il est entièrement en béton à 300 kg de ciment artificiel résistant à 250 kg/cm². Il a nécessité la mise en place de 36.000 m³ de béton environ. A noter qu'à ce volume de béton, correspondent 14.000 m³ de déblais pour fondations.

Des injections de ciment ont été réalisées dans le sol de fondation qui ont absorbé 39 tonnes de liant.

Le barrage crée une réserve de 6.700.000 m³.

A ce barrage s'attachent un certain nombre d'ouvrages annexes :

Tout d'abord, une galerie de dérivation capable d'écouler les plus grosses crues normales. Cet ensemble est relativement important. La galerie a en effet 218 m. de longueur et un gabarit de 3,50 × 3,50. Dans les périodes d'entretien futur, on pourra, si besoin est, grâce à la présence d'une vanne-wagon dont la manœuvre est possible sous toutes les charges à partir d'un poste de commande situé au-dessus de la retenue sur la rive gauche, vidanger rapidement la retenue et la maintenir à sec.

D'autre part, au point le plus bas de la retenue, compatible avec la possibilité d'écoulement dans l'ancien lit du gave, on a disposé, à travers le barrage, une tuyauterie de vidange de 1 m. 20 de diamètre, fermée à l'aval par deux papillons : l'un de garde avec sas de colmatage et l'autre de réglage, placé à l'aval du premier. Cet ouvrage de vidange permettra, soit d'évacuer les infiltrations du batardeau de dérivation lors d'une mise à sec pour entretien, soit d'alimenter les usines situées à l'aval pendant un arrêt prolongé de l'usine de Fabrèges.

Sur la rive droite, enfin, a été construit l'ou-

vrage très important d'évacuation des crues. Il est constitué par un déversoir de surface de 23 m. 50 de longueur et d'une vanne-clapet de 10 m. de largeur sur 2 m 30 de hauteur, commandée mécaniquement à partir d'une passerelle disposée dans le prolongement de l'extrémité rive droite du barrage. Son profil a été étudié sur modèle réduit par le Laboratoire de l'Institut Electrotechnique de Toulouse. L'ensemble du clapet et du réservoir à seuil fixe peut évacuer 150 m^3 par seconde. En y joignant le débit des vannes de vidange, de la vanne-wagon et de l'usine, le débit total évacuable est de $270 \text{ m}^3/\text{sec.}$, débit qui correspond à la crue millénaire.

Toute la robinetterie équipant les ouvrages annexes est motorisée. Il a donc fallu amener le courant depuis l'usine d'Artouste par un branchement sur la ligne 10.000 v. Artouste-Sagette : ce branchement aboutit à un poste de transformation de 75 kva à partir duquel sera distribuée, par câbles basse tension, l'énergie nécessaire à la force motrice et à l'éclairage des différents secteurs.

Le poste de transformation est installé dans une tour décorative limitant la ligne du barrage sur la rive droite. Dans cette tour, sera également installé un poste d'écoute moderne pour surveiller le comportement des témoins sonores.

Dans le but de contrôler les efforts internes et la température des maçonneries, M. l'Inspecteur Général Coyne, auteur de ce barrage, a fait noyer dans la masse du béton, en des points judicieusement choisis, 87 témoins sonores dont le fonctionnement est assez connu pour que nous ne nous y étendions pas.

Actuellement, la mise en action des témoins sonores, qui nécessite l'introduction d'une fiche d'envoi de courant dans une prise située à hauteur de chaque témoin, se fait à l'aide d'une boîte d'auscultation reliée par fil volant, difficile à tendre d'ailleurs, successivement à toutes les prises. Dans l'avenir, chaque prise sera reliée par un fil particulier placé à demeure, à un tableau comportant autant de prises qu'il y a de témoins, de sorte que l'auscultation faite à partir d'une salle silencieuse située au pied de



Fig. 5. — Le bâtiment d'usine de Fabrèges, vu de l'usine d'Artouste.

la tour permettra aux spécialistes de la question d'opérer comme en un laboratoire et de faire progresser, nous l'espérons, la science dans cette branche de la construction des barrages voûte.

Indiquons qu'au cours du remplissage, la voûte s'est déformée très régulièrement, et la flèche maxima enregistrée à la clef a été de 12 mm.

Nous dirons quelques mots de la déviation de la route nationale n° 134 bis conduisant en Espagne, rendue obligatoire par la submersion par la retenue de Fabrèges d'une partie de cette route. C'est un ouvrage très important, régnant sur 2.750 m. de longueur, et tracé au gabarit des très belles routes de France. Cette déviation a entraîné l'exécution de 84.000 m³ de déblais et de 8.980 m³ de maçonnerie ou de béton. Elle a reçu un revêtement de roulement et d'usure du type le plus moderne. Taillée dans le rocher, au-dessus du réservoir, dans un site grandiose, elle constituera une route touristique intéressante.

Canal d'aménée : Le canal d'aménée rive droite en charge sur le barrage est creusé dans la roche à sa partie aval et établi à l'air libre dans sa partie amont.

Le tronçon aval de forme ovoïde, presque circulaire, de 2 m. 25 de diamètre, est creusé dans une roche granitique très homogène et très dure avec une pente de 17,5 m.p.m. Une couverture rocheuse de 50 m. minimum a été adoptée, ce qui a permis de limiter les revêtements à un simple bétonnage de propreté de 0 m. 20 d'épaisseur moyenne. Après achèvement de la prise de ces bétons, on a pratiqué des injections de collage qui ont absorbé en moyenne 0 t. 100 de ciment au mètre linéaire sur sa longueur totale de 825 m.

Le tronçon amont, long de 340 m., est établi à l'air libre ; il est constitué par un tube en tôle d'acier de 2 m. 25 de diamètre enrobé dans une gaine protectrice de béton de 15 cm. d'épaisseur. Le poids d'acier mis en œuvre a été de 202 tonnes. En sus de son rôle de protection, cette gaine a également pour but d'empêcher le tube de s'aplatir en cas de mauvais fonctionnement des ventouses. La configuration du terrain nous a conduits à installer en souterrain la partie amont de ce tube sur une longueur de 213 m. Pour éviter de donner à la galerie un gabarit trop important, on a supprimé la gaine de béton et on l'a remplacée par des cercles de renfort.

Ce tube se soude à l'ouvrage de prise pro-

prement dit du barrage qui contient la robinetterie : 2 papillons de 2 m. 25 de diamètre dont un automatique, faisant suite au tuyau de prise qui traverse le barrage sur la rive droite.

Conduite forcée : la conduite forcée est constituée par un tuyau en acier au chrome-cuivre de 1 m. 85 de diamètre et de 147 m. de longueur, en tôles entièrement soudées à l'arc, les épaisseurs de ces tôles variant de 8 à 11 mm. Elle est calculée pour résister à des surpressions de 30 % en service normal.

Le poids d'acier mis en œuvre est de 85 tonnes. La mise en place a été faite à l'aide d'un câble tendu en travers de la vallée dans un plan vertical passant par l'axe de la conduite forcée. La puissance de levée de ce câble est de 4 tonnes.

A l'origine de la conduite forcée, se trouve la robinetterie constituée par un papillon automatique de 1 m. 85 de diamètre.

Bâtiment d'usine : C'est un bâtiment en moellons de granit taillés ; son architecture s'harmonise avec le cadre déjà existant et notamment avec l'usine d'Artouste. Ses dimensions sont les suivantes :

- 12 m. 90 de largeur
- 25 m. 40 de longueur
- 13 m. 00 de hauteur

(Sa surface couverte est donc de 350 m² environ). Il abrite actuellement un groupe à axe vertical turbine alternateur de 9.500 kva. Il recevra prochainement le groupe de pompage de 1.800 l/sec. de débit, dont il a été question précédemment.

La construction de ce bâtiment a entraîné l'exécution de 5.800 m³ de déblais et de 768 m³ de maçonnerie. 1.350 tonnes de ciment y ont été mises en œuvre.

Prise d'eau provisoire : Nous mentionnerons enfin la construction d'un ouvrage accessoire qui a joué un rôle intéressant dans la mise en route de cette chute. Cet ouvrage a permis d'utiliser au fil de l'eau le débit du Brousset, capté en amont du barrage. Si l'avancement des travaux du barrage a été contrarié par de multiples causes, par contre, l'usine et son canal d'aménée ont été achevés dès la fin de l'année 1946. Il a donc suffi, pour utiliser la chute au fil de l'eau, de raccorder par un canal la prise proprement dite à une prise provisoire en rivière. Ce canal, constitué par une bache en béton, avait 300 m. de longueur. Il a permis de produire plus de 10 millions de kwh avant que le barrage ne soit achevé.

Exécution des travaux

A — Echelonnement des travaux

Les travaux de la dérivation provisoire, entrepris le 18 novembre 1940 par l'attaque aval de la galerie de dérivation, ont été terminés le 15 septembre 1941 avec le batardeau amont (il n'y avait pas de batardeau aval).

Pour le barrage proprement dit, les fouilles ont commencé le 8 juin 1941 avec interruptions durant les périodes d'hiver. Le bétonnage a été commencé le 13 juillet 1942 et terminé le 21 janvier 1947.

Ci-après le tableau donnant par année la cadence du bétonnage.

Année	Période de bétonnage	Cube mis en place	Cadence journalière
1942	13-7 au 27-10	2.170 m ³	54 m ³
1943	3-6 au 11-11	6.240 m ³	63 m ³
1944	19-4 au 18-7	2.961 m ³	58 m ³
1945	19-4 au 17-9	2.967 m ³	96 m ³
1946	19-4 au 11-10	16.048 m ³	125 m ³
	Soit un total de . .	30.386 m ³	

Les joints ont été exécutés du 19-9-1946 au 21-1-1947 et ont exigé un cube de béton de 2.007 m³. Les figures 3 et 4 donnent l'aspect du barrage en cours de bétonnage.

La mise en eau du barrage a été effectuée le 14 mai 1947.

Pour le canal d'amenée, les travaux de mise en place de la conduite à ciel ouvert, comprenant les terrassements, la mise en place et l'enrochement de la conduite, ont été exécutés pendant les creux de l'échéancier du barrage.

Pour la partie en souterrain, la perforation a été commencée le 6 novembre 1941 et terminée le 30 avril 1942.

Le bétonnage complet (radier, piédroits et voûte) a duré du 20 janvier 1943 au 10 avril 1945.

Comme il est de coutume sur les chantiers de montagne, les travaux du canal ont été interrompus pendant la bonne saison pour reporter les équipes sur les travaux extérieurs tels que bétonnage du barrage et sur les travaux de la dérivation de la route nationale n° 134 bis.

Des injections de ciment ont été exécutées dans la partie revêtue au début de l'année 1946.

Le montage de la conduite forcée, commencé le 24 avril 1945, a été terminé le 11 septembre 1945.

Le bâtiment d'usine était entièrement terminé le 15 novembre 1944.

Le scellement et le montage du matériel électro-mécanique ont été effectués pour :

- la turbine d'août à octobre 1945
- et pour l'alternateur . . d'octobre 1945 à janvier 1946.

L'usine a été mise en service le 18 mars 1946, avec alimentation par la prise d'eau et le canal provisoires, dont il a été fait mention plus haut.

Le canal provisoire en béton armé d'une longueur de 320 m. et de 1 m. 90 de diamètre, a été commencé le 5 septembre 1945 et terminé le 8 novembre 1945.

La prise d'eau, constituée par une série de gabions dérivant le gave du Brousset dans le canal, a été construite durant l'hiver 1945-1946.

Les travaux de la déviation de la R.N. 134 bis ont été terminés en novembre 1947. Des interruptions ont ralenti les travaux pendant les hivers à cause du mauvais temps, alors que les équipes étaient utilisées à la perforation et au bétonnage du canal d'amenée.

La réception provisoire de la déviation de route a été prononcée par le Service des Ponts et Chaussées le 18 novembre 1947.

Difficultés rencontrées

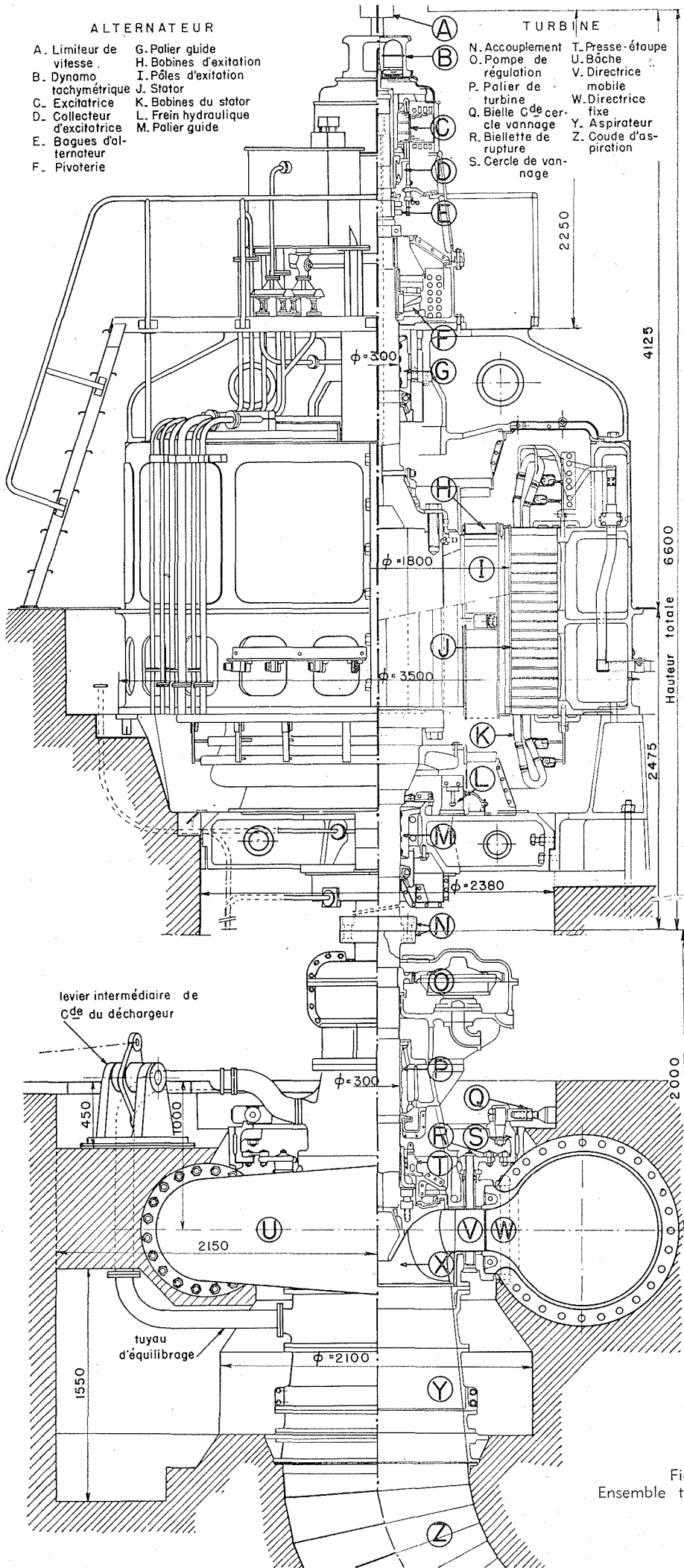
Les dates ci-dessus montrent que les travaux, dont la durée a été exceptionnellement longue, se sont échelonnés pendant toute la période de la guerre et de l'occupation allemande, puis de l'après-guerre, leur réalisation s'est heurtée à des difficultés de tous ordres qui sont venues s'ajouter à celles inhérentes à l'exécution proprement dite.

La main-d'œuvre a été très flottante, en quantité et qualité très variables et souvent assez mal adaptée à un travail de cette nature, du fait de la fuite devant le S.T.O. et de la situation du chantier en zone réservée au voisinage immédiat de la frontière espagnole.

Les transports par route, très importants, la gare la plus proche étant à 17 km, ont souffert de la pénurie des années de guerre, particulièrement sensible pour le matériel automobile.

Néanmoins, les travaux n'ont jamais été interrompus et leur maintien en activité présentait l'avantage de réserver à un équipement, attaché au sol national, de la main-d'œuvre, des matières et du matériel, qui auraient sans cela été détournés vers des buts anti-français. Le voisinage de la frontière espagnole n'était pas également sans présenter un certain intérêt.

Du point de vue purement technique, il convient de noter que les quantités de béton coulées, sauf dans la dernière campagne, ont



ALTERNATEUR

- A. Limiteur de vitesse
- B. Dynamo tachymétrique
- C. Excitatrice
- D. Collecteur d'excitatrice
- E. Bagues d'alternateur
- F. Pivoterie
- G. Palier guide
- H. Bobines d'excitation
- I. Pôles d'excitation
- J. Stator
- K. Bobines du stator
- L. Frein hydraulique
- M. Palier guide

TURBINE

- N. Accouplement
- O. Pompe de régulation
- P. Palier de turbine
- Q. Bielle C^{de} cercle vannage
- R. Bielle de rupture
- S. Cercle de vannage
- T. Presse-étoupe
- U. Bâche
- V. Directrice mobile
- W. Directrice fixe
- Y. Aspirateur
- Z. Coude d'aspiration

2250
4125
Hauteur totale 6600
2475

2000

levier intermédiaire de C^{de} du déchargeur

450

2150

1550

tuyau d'équilibrage

φ = 300

φ = 2100

φ = 2380

φ = 1800

φ = 300

φ = 3500

Fig. 8.
Ensemble turbine alternateur.

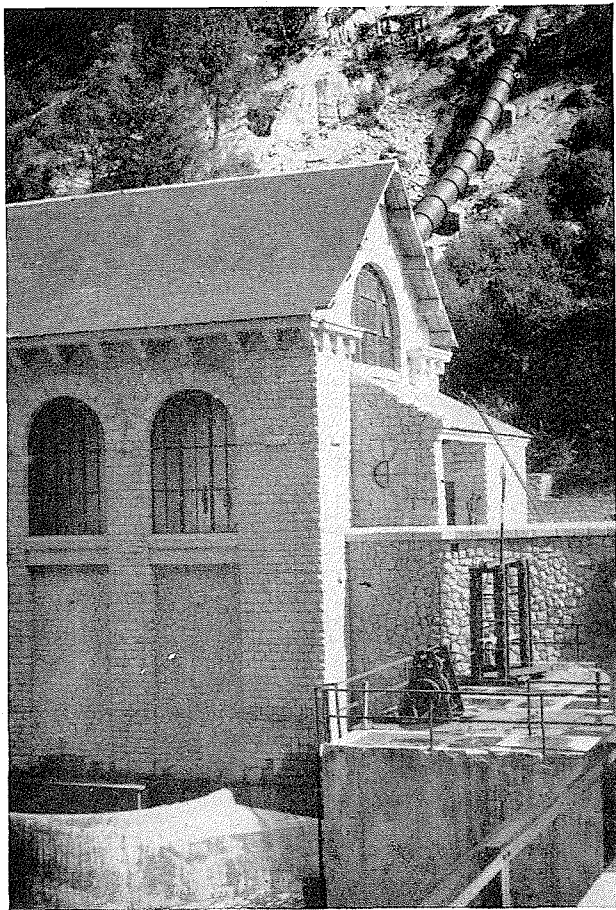


Fig. 9

L'usine de Fabrèges et sa conduite forcée soudée à l'arc électrique.
(photo Chaudronneries des Pyrénées).

été limitées par la quantité et la qualité des ciments.

C'est ainsi qu'en 1945, on a coulé seulement 2.967 m³ de béton en raison de la qualité défectueuse et surtout de l'irrégularité des ciments. Le contrôle permanent des liants, avant l'utilisation, a dû être renforcé.

Les agrégats, obtenus par concassage en carrière, ont nécessité un matériel mécanique puissant avec de multiples machines dont l'entretien s'est révélé difficile.

L'entreprise Sainrapt et Brice avait proposé la mise en place du béton par pompes à ciment. La S.N.C.F. avait accepté cette solution qui, après mise au point assez longue, s'est révélée intéressante.

Il est bon toutefois d'indiquer pour les chantiers nouveaux deux difficultés dans l'exécution du bétonnage du barrage avec ce système :

- la fabrication du sable,
- la marche des pompes à béton.

Fabrication du sable : En période de bétonnage intensif, la production de sable s'est révélée insuffisante en raison des incidents trop fréquents survenus aux granulateurs installés, par suite de la fragilité de certaines de leurs pièces.

C'est par le remplacement des premiers granulateurs par des appareils d'un type nettement renforcé et mieux adapté au travail imposé, que l'Entreprise a enfin réussi à obtenir les quantités de sable nécessaires.

Marche des pompes à béton : Les matériaux employés étaient des matériaux concassés à partir de roches constituées principalement par des calcaires saccharoïdes de grande rugosité. Par suite, la mise au point de la composition granulométrique optima du béton susceptible de passer dans les pompes s'est révélée difficile.

Le premier essai a consisté tout d'abord à introduire une plus forte proportion de fines, afin de rendre plus facile le passage du béton. Puis la meilleure composition a pu être définie en combinant le dosage en eau et en fines. On est arrivé au béton dénommé P 26 et qui a été employé jusqu'à la fin du bétonnage. La granulométrie, continue, est donnée ci-dessous.

Gravier	25 - 60 m/m ^(a)	785 kg
Gravillon	6 - 25 m/m	450 kg
Sable	3 - 6 m/m	300 kg
Sable	0 - 3 m/m	365 kg
Ciment		300 kg
Eau		7,8 %

(a) la maille du gravier ne correspond pas à la passoire de 60 m/m, mais à la maille carrée de 45 m/m, avec diagonale de 60 m/m.

Cependant le béton adopté n'était pas pompable sans quelques précautions ; une fatigue exagérée du matériel était constatée et se traduisait par la rupture de certaines pièces.

Un remplacement des pièces faibles des pompes, par des pièces renforcées ayant été réalisé, les ruptures se sont faites plus rares ; mais de fréquents bouchons se manifestaient encore dans la canalisation de distribution, provoqués par l'impossibilité notamment de faire aboutir cette canalisation directement sur les plots par une colonne descendante ne comportant pas trop de pertes de charge.

Ces bouchons, très préjudiciables à la bonne marche du travail, immobilisaient le chantier assez fréquemment. Il fallait, en effet, chaque fois démonter toute la canalisation et la nettoyer avant que le béton ait fait sa prise.

Il en résultait, outre la perte de temps, une perte de béton importante. D'où la nécessité de renoncer à la mise en place directe du béton et de limiter le cheminement du béton pompé au seul parcours horizontal sur la crête du barrage. La tuyauterie était interrompue au droit du dernier plot bétonné et débitait par un col de cygne dans une trémie à partir de laquelle le béton était distribué par gravité dans les plots suivants, grâce à un jeu de goulottes appropriées. Ce procédé de mise en œuvre a nécessité l'application d'un plan de bétonnage des plots différent du plan prévu et comportant l'exécution de ceux-ci en escalier, pour que la distribution par gravité puisse être faite. Le schéma bétonnage donne la disposition des plots et leur ordre de bétonnage. (fig. 7).

L'adoption de ce système d'utilisation des pompes a enfin donné satisfaction, sous réserve de se contenter d'un rendement des pompes inférieur à celui qu'elles auraient pu théoriquement fournir et pour éviter les bouchons qui risquaient de se produire, de maintenir une surveillance constante à l'entonnement du béton dans les pompes. Il se formait souvent, en effet, et surtout en fin de gâchée, au fond de l'entonnoir d'alimentation, une voûte dans le béton, s'opposant à l'admission par la pompe et provoquant une rupture dans la colonne du béton pompé ; un homme avec un ringard évitait la formation de cette voûte en brassant le béton dans l'entonnoir d'admission.

Au delà de 160 mètres de refoulement horizontal, le système précédent n'a pas été appliqué, la fatigue des pompes paraissait devoir devenir excessive.

Pour le bétonnage des derniers plots rive gauche n^{os} 11, 12 et 13 de faible volume (3.127 m³) on a eu recours à la mise en place du béton par un câble transporteur et bennes permettant de déverser le béton dans un jeu de goulottes identiques à celles de la distribution rive droite.

L'allure de ce système s'est révélée satisfaisante.

En résumé, la construction du barrage de Fabrèges qui comportait la mise en place de béton à éléments relativement menus, a permis de constater qu'il était possible de recourir, moyennant quelques précautions particulières, à l'utilisation de pompes à béton, bien que l'on ait eu à employer des matériaux de concassage relativement rugueux.

Sans atteindre le maximum de rendement qu'on aurait pu exiger d'elles dans les conditions idéales d'emploi, les pompes de Fabrèges ont cependant permis, après mise au point, de mettre en place le béton à un débit honorable. Avec le système mixte pompe/goulotte, on a

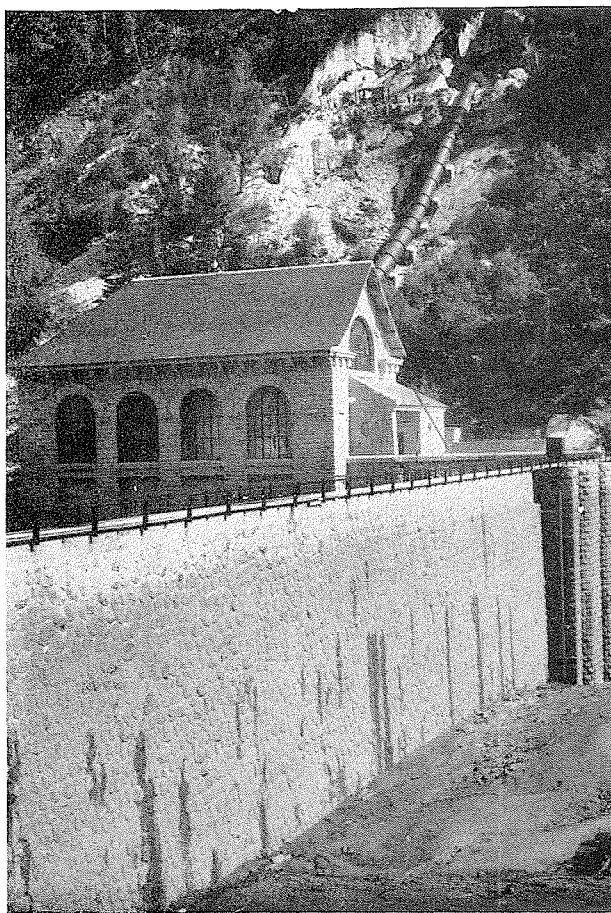


Fig. 10
L'usine de Fabrèges et sa conduite forcée à l'aval du bassin compensateur d'Artouste.
(photo Chaudronneries des Pyrénées).

réalisé pendant la campagne active de 5 mois et demi de 1946 des pointes dépassant 200 m³ par jour et une moyenne soutenue de 150 m³ par jour de travail.

Le jeu des goulottes pour mise en place dans les plots s'est révélé très convenable pour une exécution des plots en escalier.

Pour l'avenir, il semble donc que le système employé à Fabrèges soit acceptable sous réserve de placer les pompes à une distance plus rapprochées qu'à Fabrèges de la fouille du barrage et de prévoir une pompe supplémentaire de réserve.

III — L'ÉQUIPEMENT ELECTRO-MECANIQUE

La centrale de Fabrèges comporte un groupe unique à axe vertical, composé d'un alternateur de 9.500 kva à 10 kv, entraîné par une turbine Francis d'une puissance de 12.000 cv sous 105 mètres de chute, tournant à 750 t/m. La chute brute varie entre 80 et 110 mètres. Elle com-

prendra ultérieurement une pompe à axe horizontal mue par un moteur asynchrone de 3.000 cv. Nous nous bornerons à décrire ici les installations du groupe turbine alternateur.

A — Turbine — La turbine est alimentée par une conduite forcée de 150 mètres de longueur et de 1 m. 85 de diamètre intérieur, précédée par un canal d'amenée en charge, de 1.165 m. de longueur et de 4 m² de section. L'installation ne comporte pas de cheminée d'équilibre.

Le débit de la turbine, pour la puissance nominale de 12.000 cv. sous 105 mètres de chute, est de 10,5 m³/s., mais l'ouverture maximum du distributeur est en principe limitée afin que le débit ne dépasse pas 9 m³/s. Dans ces conditions et sous la hauteur de chute nette de 105 mètres, la puissance disponible sur l'arbre est de 11.100 cv.

Le débit de 9 m³ est celui qui correspond à la saturation de l'usine de Miègebat, compte tenu des apports naturels, en étiage, des 2 gaves du Soussouéou et du Biou.

La restitution s'effectue par un aspirateur coudé dans un bassin dont le niveau varie de 1.130 à 1.120, mais il a été prévu, au débouché de l'aspirateur, un ouvrage d'évacuation en forme de cheminée demi-circulaire adossée au mur de la centrale et comportant un déversoir qui règle le niveau minimum de restitution à la cote 1.128,55. La hauteur d'aspiration de la turbine est toujours négative et varie de 1 m. 55 à 3 m., l'axe de la bache est à la cote 1.127. La vitesse d'emballement est de 1.600 t/m.

Les rendements garantis sont donnés par la courbe ci-dessous (fig. 11).

DESCRIPTION

Bâche. — La bache spirale, en fonte, en deux pièces, est enrobée dans le béton jusqu'à son plan médian horizontal. Elle comporte une série d'avant-directrices fixées par des entretoises en acier. Le trou d'homme et la conduite de vidange sont reportés sur la culotte de raccordement.

Roue. — Bien que les dispositions adoptées pour la restitution (hauteur d'aspiration négative) suppriment pratiquement tout risque de cavitation, la roue a été exécutée en acier inoxydable (14 % de Cr, 2 % de Ni.) qui résiste particulièrement bien à cet effet. Elle est fixée sur le plateau d'accouplement de l'arbre de la turbine par dix boulons ajustés.

Distributeur. — Le distributeur comporte 16 directrices en acier moulé. Les tourillons sont venus de fonderie avec les directrices et tournent dans des coussinets en bronze : une douille

pour le tourillon inférieur, deux douilles pour le tourillon supérieur. Les douilles de guidage supérieures comportent un dispositif d'étanchéité par des cuirs emboutis bourrés à l'aide d'un caoutchouc. Les tourillons sont pourvus de Técalémit assurant un graissage sous pression efficace.

Chaque directrice est commandée par un levier entraîné par le cercle de vannage au moyen d'une bielle de sécurité présentant une section de moindre résistance qui se rompt si, un corps étranger venant à s'introduire entre les directrices, la manœuvre du vannage demande un effort exagéré. Chaque directrice comporte deux taquets de retenue formant butée en cas de rupture de la bielle.

Le cercle de vannage, porté par la bache, se déplace sur des segments en laiton. Il entraîne, par les leviers, le déplacement des directrices. L'arbre de vannage, commandé par le régulateur, l'attaque par deux bielles.

Le distributeur comporte un flasque supérieur, un flasque inférieur et un fond supérieur en fonte. Le fond supporte le palier de guidage. Il comporte une tubulure d'équilibrage, raccordée au tuyau d'aspiration, qui assure l'évacuation des eaux infiltrées par le joint entre la roue et le flasque supérieur. Le flasque supérieur et le

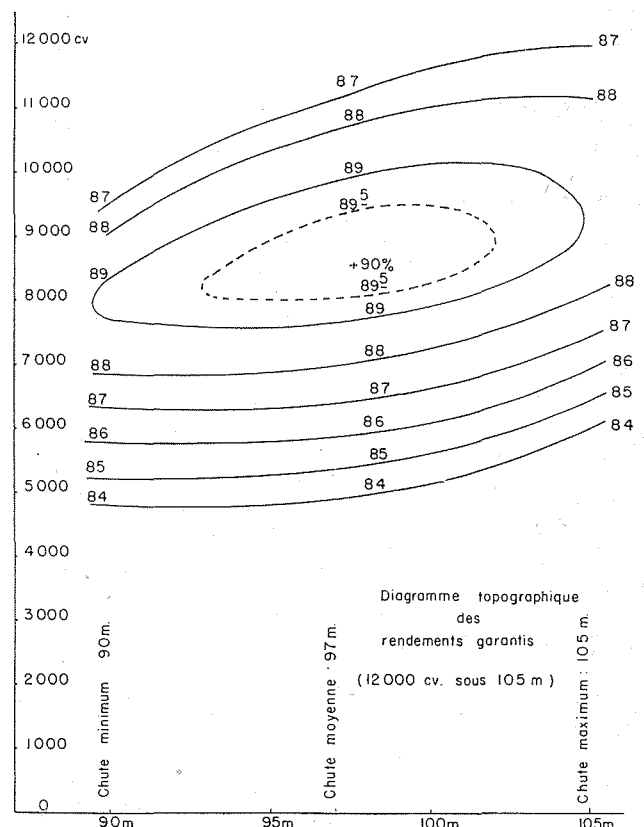


Fig. 11

flasque inférieur sont munis de plaques d'usure en acier dur. Des labyrinthes amovibles, en acier, sont fixés sur chacun des flasques au droit des joints du plafond et de la ceinture de la roue. Ces pièces peuvent être facilement remplacées lorsque le passage, à travers le joint, du sable en suspension dans l'eau a entraîné leur usure, car l'augmentation du jeu dans les joints est la cause d'une baisse rapide du rendement pour les turbines Francis.

Aspirateur. — L'aspirateur, de forme coudée, est blindé en tôle. Il est réuni à la sortie de la roue par une série de pièces qui permet d'accéder à cette dernière pour la visiter

Arbre et Paliers. — L'arbre, en acier forgé, est en deux parties, réunies par plateau d'accouplement ; l'arbre intermédiaire étant lui-même accouplé à l'arbre de l'alternateur, en vue de permettre le démontage de la roue sans enlever le rotor de ce dernier.

Les accouplements sont assurés par boulons ajustés. L'arbre est foré sur toute sa longueur en vue d'introduire de l'air au centre de la roue, pour éviter les cavitations s'il venait à s'en produire.

L'étanchéité autour de l'arbre est assurée par un presse-étoupe fixé sur le fond du distributeur et comportant des tresses graissées par Técalémit. Pour éviter l'usure de l'arbre, le presse-étoupe porte sur un collier amovible en deux parties facilement remplaçables, fixé sur le tourteau de fixation de la roue sur l'arbre.

La turbine comporte un palier-guide en fonte, avec coussinets garnis d'antifriction. Le graissage des trois paliers du groupe : un palier-turbine et deux paliers d'alternateur, est assuré par une circulation d'huile à la pression de 2 kg/cm².

L'huile sous pression est normalement fournie par un groupe composé d'une pompe entraînée par un moteur électrique à courant alternatif. L'huile est pompée dans un bec disposé au niveau de la turbine et envoyée dans un réservoir supérieur fixé sur la carcasse de l'excitatrice. Elle revient dans le bec inférieur, soit après avoir lubrifié les trois paliers qui sont alimentés en parallèle, soit par une conduite de trop-plein qui maintient un niveau maximum déterminé dans le réservoir supérieur. Cette nourrice constitue un dispositif auxiliaire qui assure le graissage en cas de défaillance du dispositif normal. Le démarrage du groupe ne peut s'effectuer que si le niveau d'huile dans le réservoir supérieur, contrôlé par un flotteur à contact, est atteint.

L'huile de graissage est refroidie dans un réfrigérant alimenté, à partir de la conduite forcée, par un branchement piqué en cval du robinet de garde.

Pivot. — Le poids des parties tournantes et la poussée hydraulique, soit environ 40 tonnes, sont supportés par une pivoterie à patins flexibles placée à la partie haute du groupe.

La visite et le démontage du pivot s'effectuent en soulevant légèrement les parties tournantes à l'aide des vérins de freinage de l'alternateur. L'huile contenue dans la cuve du pivot, formant réservoir, est refroidie par une circulation d'eau à travers un serpentin alimenté à partir de la conduite forcée, comme il a été dit pour la réfrigération de l'huile de graissage.

Démontage de la turbine. — Les pièces placées entre la sortie de la roue et le col du coude d'aspiration permettent d'accéder à la roue pour la visiter, mais le démontage s'effectue normalement par dessus, en enlevant l'arbre intermédiaire, le palier, le fond et le flasque supérieur du distributeur. Toutefois, les dispositifs prévus permettent également de démonter la roue par dessous et d'éviter le démontage du distributeur, si celui-ci est en bon état. A cet effet, après avoir démonté le palier et la pompe à huile qui le surmonte et dont il sera fait mention par la suite, il suffit de désaccoupler la turbine de l'alternateur, après avoir suspendu le rotor au pont roulant par un collier prévu à cet effet. On démonte les pièces formant le cône de sortie de la roue, puis, après avoir établi un faux plancher sur le tuyau d'aspiration, on descend l'arbre avec la roue de la turbine ; une fois désaccouplée, la roue peut être évacuée.

Culotte de raccordement. — La bêche est raccordée au robinet de garde par une culotte d'amenée en acier coulé portant la tubulure sur laquelle s'assemble le déchargeur. Les assemblages de la bêche et du déchargeur sur la culotte comportent un faux-joint en fonte muni de joints d'étanchéité en caoutchouc. L'assemblage du robinet de garde sur la culotte comporte un joint en plomb. La culotte porte un trou d'homme et la vidange de la bêche spirale, ainsi que le bossage de raccordement du by-pass.

Organe de garde. — L'organe de garde est un papillon de 1 m. 400 de diamètre, à commande par servo-moteur hydraulique. Le corps de la lentille du papillon est en fonte. Les tourillons de la lentille tournent dans des douilles en bronze ; l'étanchéité entre tourillons et douilles est obtenue par des cuirs emboutis garnis de tresse de

chanvre suiffée, serrés par des presse-cuir et graissés par Técalémit.

L'étanchéité sur le pourtour de la lentille est réalisée avec un cuir serré par presse-cuir en acier, supporté par un anneau trapézoïdal en caoutchouc avec anneau de serrage en acier. La pression du serrage est réglée par des vis.

Le servo-moteur utilise, pour sa manœuvre, l'eau de la conduite forcée distribuée par une boîte à clapet commandée par une électro-valve, par l'intermédiaire d'un petit servo-moteur à huile.

Le papillon comporte un robinet vanne by-pass manœuvré par la pression de la conduite forcée, au moyen d'un dispositif analogue à celui du papillon de garde.

Régulateur. — Le régulateur à pression d'huile est du type normal tachymétrique, avec mécanismes d'asservissement, de compensation et de statisme.

Le tachymètre est commandé par un moteur asynchrone triphasé, alimenté par un transformateur à partir des barres de la Centrale.

La pression d'huile au régulateur et au déchargeur est fournie, en marche normale, par deux pompes placées sur la turbine au-dessus du palier-guide et entraînées par l'arbre au moyen d'une couronne d'engrenages hélicoïdaux. La grosse pompe assure la fermeture du régulateur et l'ouverture concomitante du déchargeur ; la petite pompe, l'ouverture du régulateur.

Au démarrage et pendant la période de ralentissement précédant l'arrêt, la pression d'huile est fournie par un groupe moto-pompe indépendant, alimenté en courant alternatif. Dès que la pompe principale est en pression, la pompe de démarrage s'arrête. Cette pompe est également mise en route automatiquement en cas de défaillance de la pompe principale.

Pendant les périodes de freinage, la pression d'huile peut également être fournie par un groupe moto-pompe alimenté en courant continu, normalement destiné à assurer le freinage de l'alternateur.

Déchargeur. — La turbine est munie d'un déchargeur qui doit s'ouvrir lorsque le vannage se ferme rapidement, afin de compenser en partie la variation du débit dans la conduite forcée et de réduire en conséquence le coup de bélier, consécutif à la fermeture de la turbine. Le déchargeur est d'autant plus indispensable que l'installation ne comporte pas de cheminée d'équilibre.

Après la fermeture du vannage, le déchargeur

se referme automatiquement et assez lentement pour ne pas provoquer de surpression anormale dans la conduite.

L'usine de Fabrèges pose un problème particulier, car l'évacuation du déchargeur s'effectue sous une charge notable lorsque le niveau du bassin de restitution est assez haut, ce qui a nécessité un système de commande spécial.

Le déchargeur est conçu pour évacuer 9.400 litres sous la chute maximum de 105 mètres. Il comporte un corps dans lequel se déplace un obturateur mobile cylindro-conique, sous l'action d'un servo-moteur dont le piston est fixe et le cylindre mobile lié à l'obturateur. En se déplaçant, ce dernier découvre un orifice par lequel l'eau s'échappe directement de la conduite d'amenée à l'ouvrage de restitution.

Des ressorts équilibrent partiellement la réaction de l'eau et le réglage est effectué de telle façon que, dans toutes les positions, l'obturateur a tendance à ouvrir si l'on admet un manque de pression d'huile à l'intérieur du servo-moteur ; il n'a donc jamais tendance à se fermer seul,



Fig. 12. — Coude supérieur de la conduite
(photo Chaudronneries des Pyrénées).

ce qui donne toute garantie contre le risque d'une fermeture brusque.

Le déchargeur est manœuvré grâce à la pression d'huile fournie, soit par la pompe principale du régulateur, soit par la pompe de démarrage. En somme, la source d'énergie est commune au régulateur et au déchargeur.

L'huile sous pression est envoyée, soit sur la face supérieure du piston du servo-moteur de l'obturateur, soit sous la face inférieure par l'intermédiaire d'un bloc de distribution enfermé dans un carter placé sur le chapeau du déchargeur. Ce bloc de distribution est commandé par l'intermédiaire de cames, d'une part par le régulateur, d'autre part par l'obturateur lui-même (asservissement).

Alternateur. — Les principales caractéristiques de l'alternateur sont résumées dans le tableau ci-dessous. L'excitation est assurée par une excitatrice située en bout d'arbre, du type shunt, de 44 kw. sous 125 v.

Caractéristiques générales et garanties

— Puissance nominale en régime continu	9.500 kva
— Tension nominale et limites de tension entre lesquelles l'alternateur peut fonctionner d'une façon continue à la puissance nominale	10.000 ± 5% V.
— Intensité de courant correspondante	550 ampères
— Vitesse normale	750 t:mn
— Vitesse d'emballement (minim.) (durée de l'essai d'emballement 5 mn)	1.600 t:mn
— Facteur de puissance sous lequel doit être fournie la puissance nominale	0,9
— Enroulement à phases ouvertes Le neutre des enroulements branchés en étoile, à l'extérieur de la machine est isolé.	
— P.D.2	25 Tm2
— Chute de tension en % correspondant à la réactance de fuites totales	10 %
— Surélévation de tension entre la marche à pleine charge et la marche à vide, la vitesse et l'excitation restant constantes (tolérance ± 5% de la tension nominale)	
— Facteur de puissance = 1	25 %
— Facteur de puissance = 0,9	35 %
— Rapport de court-circuit	1,05

Garanties d'échauffement et rigidité diélectrique - Règles U. S. E.

Rendements garantis				
Charges	4/4	3/4	2/4	1/4
Cos Φ = 1	97	96,7	96,3	94,5
Cos Φ = 0,9	96,5	96,2	95,2	94

DESCRIPTION

Dispositions générales. — L'alternateur est du type saillant par rapport au niveau du sol de la Centrale. Il est entièrement fermé. Les parties actives, enroulements, bornes rotor, sont normalement inaccessibles.

L'excitatrice et les bagues collectrices sont disposées au-dessus du pivot.

Ventilation. — La ventilation de l'alternateur est assurée par deux ventilateurs fixés de part et d'autre du corps du rotor. L'air frais est pris à la partie supérieure de l'alternateur dans la salle et à la partie inférieure dans la fosse de la turbine. L'air chaud, collecté à la partie inférieure de la carcasse, est refoulé dans un caniveau.

A - STATOR

Carcasse et circuit magnétique. — La carcasse en fonte est en deux pièces ; elle comporte les nervures de fixation du circuit magnétique.

Le circuit magnétique formé par les tôles est maintenu entre deux plaques de serrage divisées en segments indépendants fixés sur la carcasse. Ces segments permettent d'obtenir un serrage uniforme et énergique des tôles, et ceci, jusqu'au voisinage de l'alésage, grâce aux profilés qu'ils comportent et qui appuient sur les dents.

Dans le sens périphérique, les tôles sont retenues par des clavettes de laiton en forme de queues d'aronde vissées sur les entretoises intérieures de la carcasse.

Le circuit magnétique est constitué par des segments de tôle dynamo à haute perméabilité magnétique de 0,5 mm. d'épaisseur, isolés par un papier mince.

L'alésage des tôles de diamètre 1.800 est pourvu de 108 encoches ouvertes destinées à recevoir l'enroulement statorique.

Croisillons. — Les croisillons supérieur et inférieur sont exécutés en fonte en une partie. Le croisillon supérieur est formé d'une partie centrale circulaire et de 4 bras ; il est dimensionné pour supporter une charge de 65 tonnes correspondant à son propre poids, au poids du rotor et à la réaction hydraulique.

Le coussinet de guidage inférieur est en deux parties pour permettre son démontage par la partie inférieure.

B - ROTOR

Arbre. — L'arbre en acier SM est formé de 3 pièces ; la partie centrale forme corps de rotor pour recevoir les pôles ; à son extrémité inférieure, il porte une bride d'accouplement venue de forge ; à son extrémité supérieure, sont montées l'excitatrice et les bagues collectrices. Les connexions réunissant les bagues collectrices à l'enroulement inducteur sont logées dans le forage central de l'arbre.

Roue polaire. — Elle est constituée par huit pôles saillants fixés par queue d'aronde au corps du rotor.

Les noyaux polaires sont en acier forgé avec épanouissement constitués par des tôles d'acier de 1 mm. découpées à la matrice et serrés entre deux plaques en acier laminé.

Le PD2 du rotor est de 25.000 kgm².

C - ENROULEMENTS

Enroulement stator. — Du type dit « américain », cet enroulement se compose de bobines à plusieurs conducteurs, rigoureusement identiques et interchangeable exécutées sur gabarit.

Ces bobines sont constituées avec de l'aluminium en méplat nu. Les conducteurs sont enrubbannés de soie mica sur toute leur longueur ; l'isolation est renforcée dans les coudes. La rigidité des parties droites de chaque bobine placée dans les encoches est assurée par un gainage de micafolium pressé à chaud ; les têtes de bobines sont enrubbannées de toile excelsior recouverte de ruban jaconas.

Pour éviter toute déformation en cas de court-circuit, les têtes de bobines sont solidement maintenues à leur écartement par frettage sur deux anneaux en acier isolés par un revêtement d'épaisseur réglable et solidement fixés sur les plaques de serrage. Les deux bobines de l'encoche sont entourées d'une gaine unique en presspahn.

Enroulement rotor. — L'enroulement inducteur comprend 8 bobines indépendantes montées chacune sur un noyau polaire avec interposition d'isolants indéformables. Elles sont maintenues dans le sens radial par l'épanouissement polaire et des cadres d'acier centrés et fixés à la partie inférieure du noyau polaire.

Les spires des bobines sont constituées par des

bandes d'aluminium enroulées sur champ et séparées les unes des autres par un isolant continu en presspahn verni. Un certain nombre de ces spires, régulièrement réparties, forment saillie sur le pourtour, accroissant ainsi notablement la surface de refroidissement.

D - PALIERS ET GRAISSAGE

Palier supérieur. — Il est supporté par le croisillon supérieur et comprend un palier de guidage, un coussinet, des déflecteurs et un réservoir d'huile.

Graissage. — Le graissage des trois coussinets du groupe (2 de l'alternateur et 1 de la turbine) est assuré par une circulation d'huile en circuit fermé indépendant.

L'huile est pompée par un groupe moto-pompe dans un bac disposé au niveau de la turbine et envoyée dans un réservoir supérieur fixé sur la carcasse de l'excitatrice. Elle revient dans le bac inférieur, soit après avoir lubrifié les coussinets qui sont alimentés en parallèle, soit par une conduite de trop-plein assurant au réservoir supérieur un niveau maximum déterminé.

APPAREILLAGE et SERVICES AUXILIAIRES

L'usine de Fabrèges ne comprend pas de transformateurs élévateurs, l'énergie qu'elle produit est directement envoyée par 3 câbles en cuivre de 150 mm² de section en parallèle à la Centrale d'Artouste, sur le jeu de barres commun aux alternateurs de cette centrale d'où elle est alors élevée à 60 kv.

En outre, l'usine de Fabrèges est reliée à l'usine d'Artouste par des câbles de contrôle qui comprennent :

— 1 câble 3 × 15 mm² aluminium pour l'alimentation du transformateur des services auxiliaires ;

— 1 câble 2 × 29 mm² aluminium fournissant à Fabrèges le courant continu à partir de la batterie d'Artouste ;

— 8 câbles à 4 conducteurs 30/10 aluminium pour la télécommande et la signalisation entre Artouste et Fabrèges.

Les disjoncteurs du type à air comprimé sont à l'usine d'Artouste. A Fabrèges, se trouvent simplement des sectionneurs d'isolement et un sectionneur inverseur permettant d'alimenter les transformateurs des Services auxiliaires, soit directement depuis Artouste, soit en dérivation sur l'alternateur. Ces transformateurs ont une puissance unitaire de 75 kva.

On voit qu'en dehors des installations d'automatisme, toutes les indications nécessaires à la conduite de l'usine de Fabrèges sont transmises au tableau de l'usine d'Artouste, à partir de laquelle la commande est assurée.

Ajoutons que l'usine est desservie par un pont roulant de 35 t. L'épuisement est assuré par deux pompes immergées d'un débit unitaire de 80 m³/h.

AUTOMATISME

La proximité d'Artouste (usine à commande manuelle déjà existante), le fait que Fabrèges n'a pas, comme on l'a indiqué, de « personnalité », mais doit simplement adapter son débit à celui de l'usine aval de Miègebat, ont amené à équiper cette usine pour qu'elle remplisse cette fonction automatiquement dans des conditions toutefois satisfaisantes pour le rendement de

l'installation. Ces conditions ont été réalisées comme il suit :

Quand le niveau baisse dans le bassin de restitution, qui est également le bassin de prise de l'usine aval de Miègebat, par suite de l'appel d'eau par cette usine, un flotteur ferme son contact, ce qui entraîne la mise sous tension du jeu de barre « automatisme » de la turbine. Cette mise sous tension entraîne :

- la mise en route de la pompe à huile électrique du régulateur ;
- la mise en route de la pompe de graissage des paliers ;
- la mise du limiteur d'ouverture en position de marche à vide.

Des contacts manométriques vérifient qu'on dispose bien d'huile sous pression. Une électrovanne envoie cette huile vers le by-pass du papillon de garde de la turbine, qui s'ouvre. La bêche se remplit ; lorsqu'elle est pleine, un



Fig. 13
Raccordement de la conduite avec la partie bétonnée en galerie entre le barrage et la centrale.
(photo Chaudronneries des Pyrénées).

détecteur de pression monté sur celle-ci entraîne l'ouverture de la vanne-papillon.

Le groupe peut alors démarrer. A cet effet, un fin de course placé sur la vanne-papillon, entraîne par un relais auxiliaire la fermeture du commutateur de désamorçage qui excite à son tour l'électro-valve de la position fermée à la position marche à vide demandée par le limiteur d'ouverture.

Le groupe prend de la vitesse, s'excite et alimente le moteur d'entraînement du pendule du régleur.

Simultanément, il entraîne la pompe à huile mécanique du régulateur et la pompe électrique de démarrage s'arrête.

Le pendule étant en route, le limiteur d'ouverture s'ouvre et la turbine passe sous le contrôle du réglage tachymétrique. Dès que la vitesse est voisine de la vitesse de synchronisme, une dynamo tachymétrique placée en bout d'arbre ferme son relais de tension qui met en route le synchroniseur et le coupleur. La machine une fois couplée, le régulateur de vitesse va à fond de course, et laisse la turbine sous le contrôle du limiteur d'ouverture.

Ce dernier est lui-même à ce moment mis sous la dépendance d'un flotteur situé dans le bassin de restitution, de façon à établir un asservissement entre le niveau dans ce bassin et l'ouverture du vannage, qui est en grand pour un bassin bas et se ferme progressivement au fur et à mesure de la remontée de l'eau.

Pour éviter de marcher trop longtemps à puissance fractionnaire, donc à mauvais rendement, un relais à minimum de puissance temporisé arrête le groupe une fois le niveau maximum atteint. Le groupe ne redémarrera alors qu'une fois le bassin presque vide. La succession des manœuvres d'arrêt s'effectue en sens inverse des manœuvres de démarrage.

Toutefois, une fois la vanne-papillon fermée, une pompe à huile démarre et envoie, pendant un temps déterminé expérimentalement, la pression d'huile dans les vérins de freinage du groupe.

Des boutons-poussoirs permettent, en shuntant les contacts des différents flotteurs, de réaliser à volonté les démarrages et les arrêts.

Enfin, un commutateur permet d'éliminer les organes d'automatisme et de réaliser le démarrage du groupe à la main, selon le processus habituel.

Pendant la marche, le groupe est sous la dépendance de dispositifs de sécurité, qui l'arrêtent en cas d'une avarie quelconque. Ces

sécurités ont été divisées essentiellement en deux groupes :

1° — le premier groupe protège contre des incidents qui, s'ils exigent l'arrêt du groupe lorsqu'ils se produisent, disparaissent sans laisser de détériorations persistantes, empêchant de remettre le groupe en route. Ces sécurités comprennent :

— manque pression air comprimé (pour le soufflage des disjoncteurs, les groupes-compresseurs se trouvent à Artouste)

— niveau amont au-dessous d'une cote minimum

— maxima d'intensité.

Leur fonctionnement entraîne l'arrêt du groupe. Le défaut disparu, rien ne s'oppose à la remise en route.

2° — le second groupe protège contre des incidents qui exigent l'arrêt du groupe et sont susceptibles de laisser une détérioration permanente : un échauffement de palier, par exemple, peut s'accompagner d'entraînement de métal, qui demeure, le palier une fois refroidi. Ces sécurités comprennent :

— manque pression d'huile régulateur,

— manque pression et circulation d'huile graissage,

— manque de tension sur le moteur du tachymètre et avarie des contacteurs d'automatisme.

— échauffement de paliers

— survitesse

Maxima de tension

Protection différentielle

Protection de masse du stator

Protection de masse du rotor.

Leur fonctionnement entraîne l'arrêt du groupe et par le fonctionnement d'un relais de blocage à accrochage mécanique, l'interdiction de tout nouveau démarrage, tant que ce relais ne sera pas débloquenté à la main. Ce relais se trouve à Fabrèges. Un agent d'Artouste doit, dans ce cas, se rendre à Fabrèges, visiter les parties de l'installation présumées avariées et débloquenter le relais.

Les travaux de génie civil ont été exécutés, tant pour le barrage que pour l'usine et le canal, par les Etablissements Sainrapt et Brice.

La conduite forcée a été exécutée par les Chaudronneries des Pyrénées.

La société Alsthom Charmilles a fourni les

deux vannes de vidange, les deux vannes de tête du canal d'aménée et la vanne de tête de la conduite forcée.

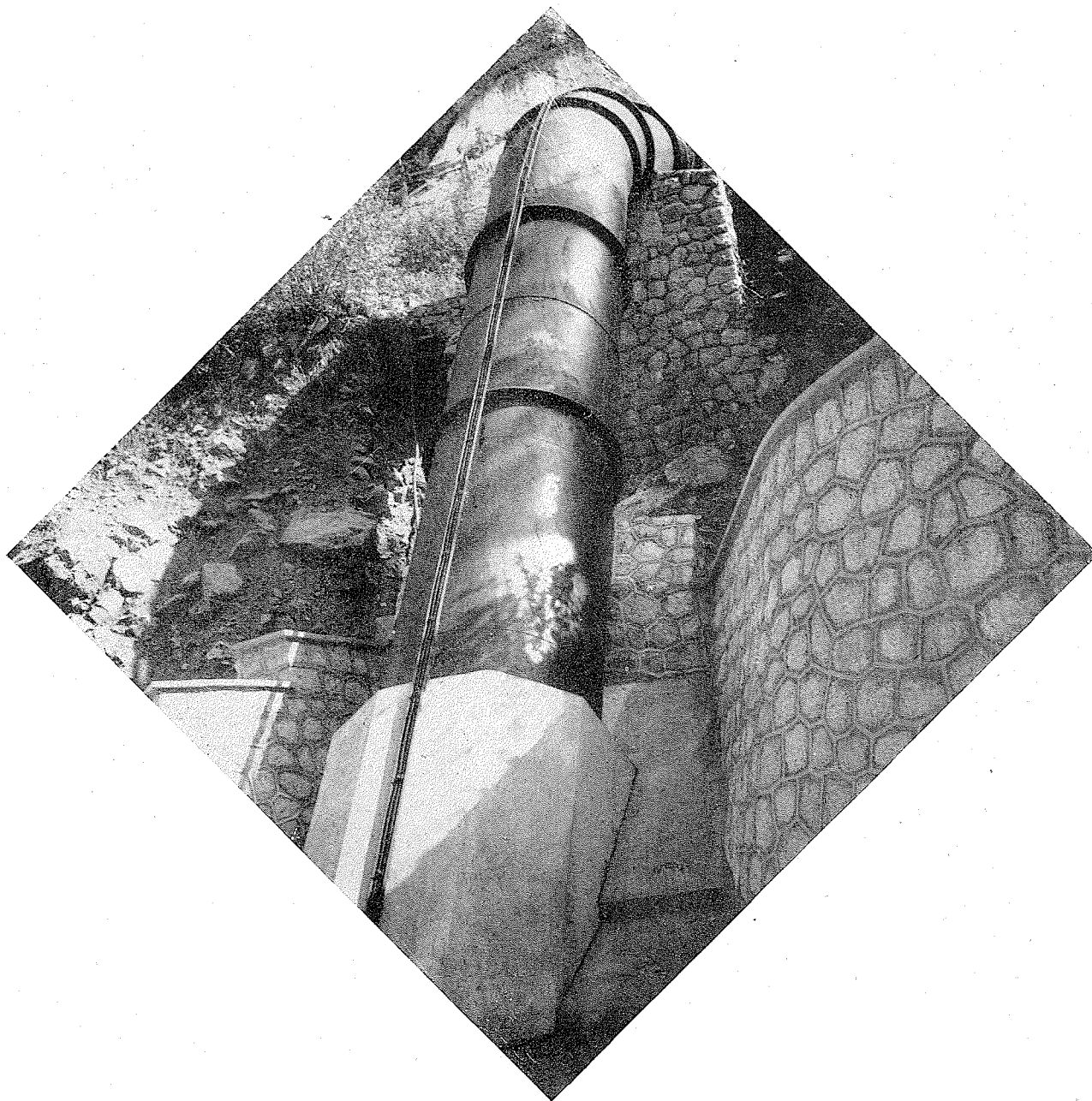
Moisant Laurent Savey a fourni le clapet du déversoir de crues.

Neyrpic a fourni la vanne-wagon placée en

tête de la galerie de dérivation provisoire, la turbine et sa vanne de garde.

La Compagnie Electro-Mécanique a fourni l'alternateur et l'appareillage électrique.

S.O.R.E.T.E.X. a fourni le pont roulant, Jeumont Vogel les pompes d'épuisement.



Arrivée de la conduite forcée au massif d'ancrage adjacent à l'usine.

(photo Chaudronneries des Pyrénées).

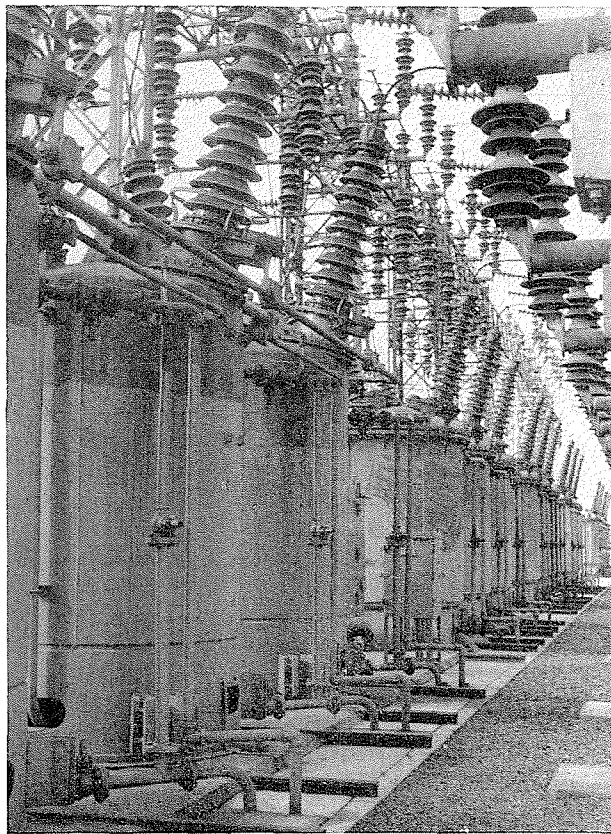
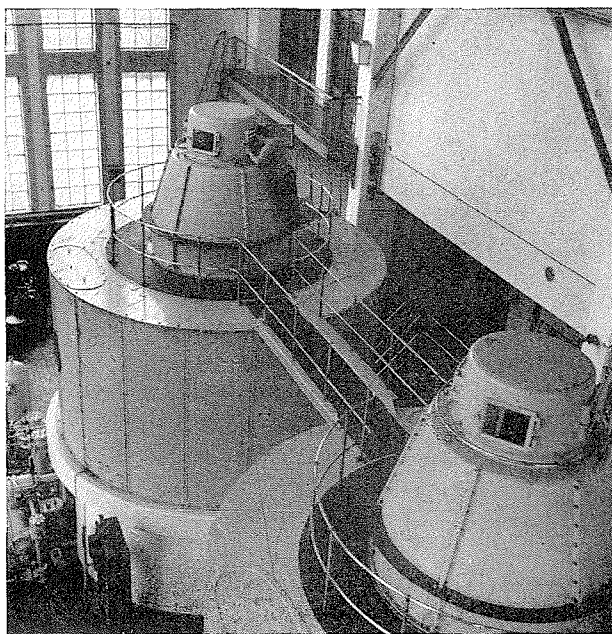
GALLOWAY SYSTEM (ECOSSE)

A gauche : Vue intérieure de l'une des cinq centrales du système hydroélectrique de Galloway, de 100.000 kilowatts au total. Les deux turbo-alternateurs fournissent 12.000 kilowatts.

(Photos British Council)

A droite : Vue d'une rangée de disjoncteurs avec contrôle de désionisation de 132.000 volts dans la sous-centrale Northfleet du réseau électrique national.

C'est la plus grande station commutatrice et transformatrice à 132.000 volts de tout le réseau.



ERRATA A L'ARTICLE CARACTÉRISTIQUES DES RÉGULATEURS (N° 6)

Page 461 — 1^{re} colonne — 3^e ligne :

Dans la formule donnant τ' , lire au dénominateur :

$0,6 K \beta \pi D$ au lieu de $0,6 H \beta \pi D$

2^e colonne — 6^e et 9^e lignes :

Avant la fin, lire dans les formules :

Δh_A et Δh_0 au lieu de Dh_A et Dh_0 .

Page 464 — 1^{re} colonne — 30^e ligne :

Lire « grandeur » au lieu de « petitesse ».

Page 465—2^e colonne—Note au bas de la page :

Il manque « est constant » à la fin de la parenthèse.

Page 466 — 1^{re} colonne — 10^e ligne :

Lire :

$a_0 a_1$ au lieu de $A_0 A_1$

15^e ligne :

Lire :

$a_0' a_1'$ au lieu de $A_0' A_1'$

2^e colonne — 28^e ligne

Lire « ouvrir » au lieu de « fermer ».

Page 467, remplacer l'avant-dernier alinéa par les deux suivants :

Dans le deuxième cas, le tiroir de distribution est dimensionné de manière à introduire un retard minimum dans la transmission, la lenteur de réglage étant déterminée par la rigidité du dash-pot et le degré d'asservissement.

L'équivalence entre les comportements des régulateurs tachymétriques à dash-pot et accélérotachymétriques n'est pas une chose qui va de soi et nous avons essayé de la préciser.