LA HOUILLE BLANCHE

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

Pour la Rédaction :

Abonnement (France..... 40 francs

Pour les Abonnements et Annonces :

S'adresser à M. P. PAGNON

pour une Année } Etranger 50 francs

S'adresser à M. B. ARTHAUD

Secrétaire Général

Le Numéro : 7 francs

Editeur

19, Boulevard Gambetta, 19

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

23, Grande-Rue, 23

GRENOBLE

GRENOBLE

COMITÉ DE DIRECTION SCIENTIFIQUE

BARBILLION, Professeur titulaire d'Electrotechnique a la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

CAMICHEL, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Toulouse.

CHALUMEAU, Ingénieur en chef de la ville de Lyon.

DARRIEUS. Ingénieur des Arts et Manufactures.

DUVAL, Directeur des Services électriques de la Société Générale d'Entreprises.

FLUSIN, Directeur de l'Institut d'Electrochimie et d'Electrometallurgie de Grenoble.

GENISSIEU, Ingénieur en chef au Ministère des Travaux Publics.

GRIGNARD, Membre de l'Institut, Doyen de la Faculté des Sciences
Directeur de l'Ecole de Chimie Industrielle de l'Université de Lyon.

MAUDUIT, Directeur de l'Institut Electrotechnique et de Mécanique appliquée à Nancy.

MERCIER, Administrateur-Délégué de l'Union d'Electricité.

DE PAMPELONNE, Inspecteur général du Génie Rural.

PARODI, Directeur honoraire des Services d'Électrification de la Compagnie des Chemins de fer d'Orléans.

PEPY, Professeur à la Faculté de Droit de Grenoble.

PAGNON, Ingénieur I. E. G., Secrétaire général.

SOMMAIRE

HYDRAULIQUE. — Les aménagements hydro-électriques de la Truyère

ÉLECTRICITÉ.—L'Energie Electrique du Littoral Méditerranéen, par L. BARBILLON, professeur à la Faculté des Sciences de l'Université de Grenoble.

DOCUMENTATION. — Deux nouveaux régulateurs Oerlikon, etc., etc.

LÉGISLATION. — Le Mois fiscal. — Expertises immobilières en matière d'enregistrement. — Les ventes d'immeubles et la taxe sur le chiffre d'affaires. — Demande de dégrèvement pour dettes hypothécaires ou chirographaires, par R. et J. LEFEBVRE.

INFORMATIONS. — BIBLIOGRAPHIE.

HYDRAULIQUE

Les aménagements hydro-électriques de la Truyère

I. — Considérations générales

La France est riche en ressources hydrauliques qui pourraient suffire à la presque totalité de ses besoins ; mais, si l'on recherche pourquoi les installations hydrauliques sont relativement peu développées on constate que les régions de production hydraulique sont mal situées, puisqu'elles se trouvent, pour la plus grande masse, sur la frontière des Alpes et sur la frontière des Pyrénées, loin des centres de grande consommation.

A la vérité, un remède apparaît immédiatement à une telle situation ; c'est la réalisation de l'interconnexion des divers centres de consommation aux sources éloignées d'énergie du territoire. Il est bien évident que si un grand réseau d'interconnexion à 220 kv. réunissait les principaux centres de consommation d'énergie tels que Paris, Lyon, Marseille, Bordeaux aux diverses sources de production thermique et hydraulique, l'utilisation de toutes les ressources du territoire serait poussée à son maximum. Ce réseau est actuellement en construction.

apparaître quelle est l'importance de puissantes installations situées au centre de la France et surtout d'installations de régularisation, munies d'importants réservoirs, qui seules peuvent assurer au réseau général d'interconnexion une sécurité et une harmonie d'exploitation qui sont indispensables au bon fonctionnement des longues lignes à haute tension.

Si l'on considère la figure 1, qui représente la courbe annuelle moyenne des débits utilisables d'une rivière des Alpes, celle de l'Isère par exemple, (courbe relevée aux chutes de la Haute-Isère), et la courbe moyenne des débits utilisables des deux usines de la Truyère, on jugera de l'aide importante que l'interconnexion des régions des Alpes à celle du Centre pourra apporter, à la bonne utilisation de l'énergie. Ce graphique montre en effet qu'en connectant les sources d'énergie de régions différentes on peut assurer durant l'année entière une fourniture garantie et régularisée de l'ordre de quarante pour cent supérieure à celle que l'on aurait sans interconnexion des régions. Les avantages obtenus par l'interconnexion sont donc fort importants.

C'est en considérant ces idées directrices que la Société des

Forces Motrices de la Truyère a étudié ses installations au triple point de vue suivant :

1^o Créer une masse importante d'énergie au centre du réseau français ;

2^o Interconnecter cette installation avec toutes les sources de production du Nord, de l'Est et du Sud ;

3^o Munir cette installation de puissants réservoirs permettant d'assurer la sécurité du service et de tirer le bénéfice maximum de la compensation réalisable entre les sources diverses de la production française.

Les premières installations réalisées sur la Truyère (usines

Fig. 1. — Courbes montrant la compensation de l'énergie hydro-électrique entre la Truyère et les cours d'eau de la région des Alpes : courbe A, énergie disponible de la région des Alpes ; Courbe B, énergie disponible de la Truyère ; courbe C, énergie totale compensée.

Fig. 2. — Carte du réseau desservi par les usines de la Truyère.

Fig. 3. — Carte montrant l'aménagement de la vallée de la Truyère : les cercles hachurés désignent les usines en exploitation, ceux en trait plein désignent les usines en construction et ceux en trait ponctué, les usines en projet.

Cependant les qualités de cette installation, qui est munie de bons réservoirs de compensation, qui est bien interconnectée

La partie du cours de la rivière, qui intéresse les aménagements réalisés, ou en cours de réalisation, comporte trois sec-

Fig. 4.— Les aménagements de Sarrans et de Brommat.

Les travaux étaient en cours lorsque la guerre est venue les interrompre en août 1914. Ils ont été repris en décembre

1917, mais ce n'est qu'au début de 1928 que la Société des Forces Motrices de la Truyère, ayant porté son capital de 20 à 270 millions de francs, a pu leur donner toute l'activité in-

Fig. 5. Coupe transversale du barrage, de la prise d'eau et de l'usine de Sarrans.

dispensable pour l'exécution du vaste programme d'aménagement, qui, après un certain nombre d'études intermédiaires, s'est finalement substitué au projet primitif.

Comme toutes les rivières du Massif-Central, la Truyère a un débit très irrégulier, sujet à de très grandes variations, d'un mois à l'autre, dans une même saison. La préoccupation d'assurer la régularité de la fourniture et de livrer autant que possible l'énergie pendant les heures de pointe de la consommation, a conduit à utiliser au maximum les dispositions favorables que présente la vallée de la Truyère, à l'amont des gorges du massif granitique : une pente faible et un bassin très élargi, qu'il est relativement aisé de fermer par un barrage à l'entrée des gorges, permettent de constituer un réservoir considérable, capable d'assurer la régularisation du débit pendant l'hiver et pendant l'été, avec une répartition convenable du débit entre ces deux saisons, et de n'avoir en tout temps d'autre limitation à l'importance du débit de pointe que la puissance même des machines.

Les aménagements comportent essentiellement (fig. 4) :

Un grand barrage à Sarrans, à l'origine de la section à forte pente de manière à constituer un vaste réservoir, avec une usine au pied du barrage et poste élévateur à 220 kv ;

Un barrage déversoir à la Cadène, à 2 km. en aval du barrage de Sarrans, constituant un bassin de prise d'eau ;

Un canal d'amenée souterrain, débouchant dans une chambre d'eau créée par un barrage sur la Bromme ;

Un second tronçon de canal souterrain reliant la réserve de la Bromme aux conduites forcées ;

Deux conduites forcées placées dans deux puits verticaux ;

Une usine souterraine (usine de Bronnat) communiquant avec l'extérieur au moyen d'une galerie inclinée et d'un tunnel d'aération ;

Un canal de fuite ;

Un bâtiment pour atelier et services divers ;

Un poste élévateur à 150 kv et à 220 kv.

II. — Barrage et usine de Sarrans

Après un long parcours en pente douce à travers des terrains schisteux où elle s'est taillée une vallée à flancs boisés, la Truyère pénètre dans une zone granitique qu'elle traverse par un défilé très étroit, à forte pente. L'entrée de ces gorges présente une muraille à pic, haute de 150 mètres ; c'est la Roche-Perdrière sur laquelle prend appui le barrage de l'usine de Sarrans qui élève le plan d'eau de la rivière de 95 mètres. Au pied de ce barrage se trouvent l'usine et le poste à haute tension (fig. 5).

Le terrain a été reconnu par douze sondages verticaux poussés à des profondeurs de 20 et 35 mètres et par deux galeries horizontales. Les résultats des sondages ont été contrôlés par la prospection électrique (1)

Fig. 6. — Plan d'ensemble des ouvrages d'aménagement de l'usine de Sarrans.

Les appuis de l'ouvrage sont, en plan, déterminés par la forme même du terrain (fig. 6).

(1) Voir dans *La Houille Blanche*, N° 201-202, p. 149.

L'utilité de ne pas modifier le passage qu'offre sur la Truyère le pont de Lanau, sur la route nationale de Saint-Flour à Chaudesaigues et la constitution d'une réserve de 300 millions de mètres cubes ont déterminé la cote de la retenue.

Le bassin versant de la Truyère au barrage de Sarrans est de 2.400 km². Le débit moyen annuel de la Truyère à Sarrans est de 39,2 m³ par seconde. Le débit spécifique de la Truyère à Sarrans par km² de bassin versant est de 16,3 litres par seconde.

Le barrage de Sarrans a 105 m. de hauteur ; il est du type « barrage-poids » à profil triangulaire. Ce type de barrage a été choisi après un examen minutieux des conditions dans lesquelles se présentaient les autres types ; barrage en enrochement, barrage-voute à faible épaisseur de maçonnerie, barrage-mixte participant à la fois du barrage-poids et du barrage-voute.

Le barrage calculé comme un barrage-poids avec un coefficient de sous-pression de 0,75 et une densité du béton de 2,325, présente un fruit amont de 0,03 et un fruit aval de 0,70, son axe étant légèrement incurvé suivant une courbe de 475 mètres en rayon.

Pour tenir compte des surélévations accidentelles de l'ordre de 1 mètre survenant au moment de l'évacuation de la crue maximum et dues, par exemple, à la poussée du vent, le sommet de l'angle formé dans le profil du barrage par les parements amont et aval, a été fixé à 2 mètres au-dessus du plan d'eau normal maximum.

La crête de l'ouvrage est à 5 m. au-dessus de la retenue normale. Sur le couronnement de 220 m. de longueur passe une route. L'épaisseur du barrage à la base est de 80 m.

Un parafouille de 5 m. de profondeur est creusé dans le rocher à l'amont du barrage (fig. 5).

Le cube de maçonnerie mis en œuvre est de 450.000 m³ ; il est constitué intégralement par du béton coulé.

La surface du réservoir ainsi formé est de 1.000 hectares et sa capacité de 308 millions de m³, dont 170 millions normalement utilisables.

Deux évacuateurs de crues de 10 m. de diamètre permettent un débit de 2.100 m³/s.

La construction de ce barrage a nécessité la construction d'une route d'accès de 25 km. dans cette région très accidentée, le logement pour les ouvriers, dont l'effectif s'est élevé jusqu'à 1.100 en 1932, et des installations très importantes dont nous donnons ci-dessous un aperçu.

L'approvisionnement en matériaux a été facilité par une carrière de basalte compact située à 3 km. du barrage et comportant un front de 350 m. de longueur et 20 m. de hauteur.

Une carrière de granit située à 500 m. du barrage a fourni après broyage, les matériaux fins nécessaires.

La question de l'approvisionnement en ciment était plus difficile à résoudre, la gare de chemin de fer la plus proche étant à 50 km. du barrage. Un téléphérique d'une capacité de 25 t/h et d'une longueur de 20 km. a été construit, entre la gare de Polminhac et l'installation de bétonnage située au sommet du barrage.

Cette installation comprend : d'abord le concassage, broyage et tamisage du basalte amené de la carrière par un téléphérique d'une capacité de 200 t/h et du granit amené par un troisième téléphérique de même capacité. Le dosage et pesage des matériaux se fait automatiquement et la proportion est déterminée chaque jour par un laboratoire installé sur place. Les trois bétonnières ont chacune une capacité de 1.500 litres et un débit de 60 m³/h.

Le béton est transporté par courroies pour alimenter une goulotte inclinée et articulée déversant le béton au point exact où il est utilisé.

La construction du barrage se fait par travée de 15 m. entre lesquelles on laisse un espace de 80 cm. permettant au béton de se refroidir facilement lors de la prise (fig. 7). Ces joints de dilatation sont ensuite terminés après un délai suffisant pour que le retrait se soit effectué.

L'élimination des sous-pressions éventuelles est assurée par quatre galeries et des drains espacés de 3 mètres et situés un peu en arrière du parement amont qui est recouvert d'une chape étanche.

En plaçant l'usine au pied du barrage la partie

inférieure de l'ouvrage est percée par les conduites forcées ; on diminue ainsi leur longueur, on supprime les coudes à l'air libre et on les incorpore dans la partie la plus massive où l'évidement qu'elles créent a le moins d'importance.

Après étude comparative des diverses solutions, le nombre des groupes et par suite des conduites a été fixé à 3. Le diamètre des conduites a été pris égal à 3 mètres, ce qui donne une vitesse maximum de 6 mètres ; de plus, leur origine dans le réservoir est placée largement au-dessus du fond (fig. 5). Les vannes de vidanges et les turbines permettent d'assurer l'évacuation de 300 mètres cubes alors que la décision ministérielle fixe à 2.400 mètres cubes le débit maximum de la crue à évacuer. Les 2.100 mètres cubes supplémentaires sont évacués par des ouvrages spéciaux qui, en dehors de cas aussi extrêmes, permettent l'évacuation fréquente de débits de l'ordre de 1.000 mètres cubes.

Ces ouvrages comprennent en particulier deux souterrains creusés dans le massif de la Roche Perdrière et commandés

Fig. 7.— Les conduites forcées qui traversent le barrage sur la face amont, à 68 mètres au-dessous du plan d'eau maximum. Un portique en béton supporte les ouvrages de prises établis à leurs extrémités.

par une vanne Stoney à plusieurs corps. On a donc en réalité deux ouvrages distincts fonctionnant côte à côte (fig. 6).

Des essais sur modèles réduits ont été effectués au laboratoire de l'Institut Electrotechnique de Toulouse pour déterminer le débit de chacun des tunnels ainsi que l'écoulement de l'eau à leur sortie dans le ravin du Cantoinet, petit affluent de la rive gauche de la Truyère, utilisé pour encaisser l'énergie de l'eau. Ces essais ont permis en particulier de déterminer l'orientation à donner aux parties terminales des galeries. A la suite d'essais systématiques on a obtenu le maximum de dissipation d'énergie par la disposition suivante : le jet de l'évacuation n° 2 longe tout d'abord la paroi du ravin, en remontant celui-ci, puis redescend sur la rive opposée, et vient heurter de front le jet issu de l'évacuateur N° 1.

L'usine située au pied du barrage (fig. 8) comprend 3 turbines Francis à axe vertical fonctionnant sous une chute variable de 50 à 95 m. et ayant une puissance unitaire de 30.000 à

mettent en communication ces deux salles dénivelées de 6 mètres.

Du côté rive droite, le bâtiment de décuage s'appuie au long pan de l'usine et reçoit la voie de desserte du poste de transformation situé entre l'usine et le barrage, au niveau de la salle des tableaux (fig. 8).

Dans ce poste sont installés les transformateurs élévateurs de 40.000 kVA à 220 kV ainsi que les disjoncteurs, sectionneurs et jeux de barres locales reliées aux barres générales du poste de Rueyres, par une ligne à six conducteurs longue de 8 km.

III. — Barrage-déversoir de la Cadène

Situé à 2 km. en aval du précédent, il constitue la prise d'eau du canal d'amenée de l'usine de Brommat fig. 9).

Ce barrage doit remplir des conditions assez dures du fait qu'il doit permettre l'évacuation de crues de 2.400 m³. Il s'agit

Fig. 8. — L'usine de Sarrans et le poste de transformation.

46.000 chevaux suivant la hauteur de chute. Le débit turbiné varie de 116 à 135 m³/seconde.

Ces turbines entraînent des alternateurs dont la puissance varie de 21.400 à 34.000 kW. Leur tension est de 15.000 V. leur vitesse de rotation de 214 tours/minute. Ils ont deux excitatrices principales et une auxiliaire. Le réglage de l'excitation permet d'obtenir aux alternateurs des variations de tension de 600 à 1.000 V/seconde, nécessaires pour assurer une bonne marche du réseau à 220 kv.

L'équipement de l'usine comprend en outre un groupe auxiliaire ; c'est une turbine Francis à axe vertical entraînant un alternateur de 1.500 kVA à 5.500 Volts.

Pour desservir les groupes, la salle des machines est équipée de deux ponts roulants capables de soulever chacun 90 tonnes et susceptibles d'être accouplés pour les manœuvres importantes ; la salle des tableaux prolongée par un balcon s'ouvre sur la salle des machines du côté rive gauche, deux escaliers

donc d'assurer la dissipation de l'énergie correspondant à la chute sur l'arrière-radier d'une masse d'eau considérable.

Pour reporter le plus loin possible du pied du barrage le ressaut et les tourbillons qui l'accompagnent, on a prévu un angle vif au raccordement entre le parement aval et le coursier.

La hauteur du massif de maçonnerie est de 14 m. le barrage comprend deux vannes à secteur de 6 m. de hauteur et 18 m. de longueur et une vanne non automatique à deux corps. La capacité utile du bassin de prise d'eau est de 600.000 m³.

IV. — Canal d'amenée de la Cadène à la Bromme

Il a une longueur de 5.700 m. entièrement creusé dans le granit. Par suite de la présence du barrage de la Bromme, ce canal travaille sous une charge qui varie de 13 à 22 m. et comme

la fissuration du granit varie suivant les diverses zones qu'il traverse, on a dû prévoir deux profils différents (fig. 10), l'un avec radier en béton et enduit au ciment-gun, l'autre cylindrique de 604 m. de diamètre, avec revêtement en béton. Il présente une pente de 2 mm/m et permet un débit de $84 \text{ m}^3/\text{seconde}$ pour une section de $29,9 \text{ m}^2$.

V. — Barrage de la Bromme

Ce barrage a pour but d'utiliser à la fois les eaux de la Truyère et de la Bromme. Il est du type barrage-voûte avec crête-déversoir (fig. 11). Sa hauteur est de 36 m. La capacité utile de

Fig. 9. — Les deux vannes automatiques à secteur du barrage de la Cadène ont chacune 18 mètres de largeur ; leur levée est de 8 mètres. Latéralement est établie une vanne à deux corps, de 4 mètres de largeur, pour la vidange de la réserve.

la chambre d'eau ainsi créée est de 200.000 m^3 . Le débit maximum des crues est de 450 m^3 . Elles sont évacuées par simple déversement sur la crête.

La vidange est assurée par une vanne de fond traversant le corps du barrage, d'un débit de 20 m^3 . La prise d'eau comporte une grille à barreaux de 10 mm., espacés de 30 mm. avec dégrilleur mécanique, sans aucune vanne.

VI. — Canal d'amenée de la Bromme aux puits

D'une longueur de 1.700 m. Il est comme celui de la Cadène à la Bromme sous une charge variant de 24 à 28 m. Deux profils sont également employés (fig. 12) : l'un avec radier en béton et enduit au ciment-gun, l'autre cylindrique, de 7,24 m. de diamètre, avec revêtement en béton. Sa section est de $42,5 \text{ m}^2$ et son débit de $84 \text{ m}^3/\text{seconde}$.

VII. — Conduites forcées

A proximité de l'usine souterraine, la canal d'amenée se scinde en deux canaux secondaires aboutissant à un puits vertical, dans lequel est placée une conduite forcée, qui à sa partie inférieure, se recourbe à angle droit puis se subdivise en trois conduites horizontales aboutissant chacune à un robinet sphérique commandant une turbine (fig. 13).

Fig. 10. — Coupes du canal d'amenée de la Cadène à la Bromme : a, profil avec radier en béton et enduit au ciment-gun ; b, profil avec revêtement.

Par des rétrécissements successifs, le diamètre de la conduite passe de 4 mètres à la partie supérieure à 3 mètres, puis 2 m 60 à hauteur du coude ; les conduites individuelles de turbines sont de 1 m. 50 ; ainsi le coup de bélier sur les turbines n'est pas excessif.

D'autre part, l'intervalle compris entre la paroi rocheuse des puits et la conduite est rempli d'un béton qui a pour rôle de transmettre au rocher une partie de l'effort de la tôle. De cette façon, on a pu réduire le prix des conduites forcées en permettant à la paroi des puits de soulager par sa résistance

propre la tôle de la conduite. Pour que ce rôle puisse être joué efficacement, l'épaisseur du béton est réduite au minimum (30 centimètres en moyenne) et le béton est d'excellente qualité.

Si le rocher n'intervenait pas, le taux de travail de l'acier dans ces conditions serait de 20 kg/mm² compte tenu du coup de bélier maximum (30 %) en plus de la pression statique.

Toutefois, on a adopté les taux habituels pour le travail des tôles dans la partie inférieure des conduites jusqu'à 10 m. au-dessus du sommet de la voûte, l'ébranlement du rocher causé par les coups de mine dans l'usine obligeant à une grande prudence.

Tandis que les viroles de 3 et 4 mètres de diamètre non transportables par fer ont été fabriquées sur le chantier à la soudure électrique, les autres plus petites ont été construites en usine par soudure au gaz à l'eau. Toutes ont été descendues dans le puits par éléments entiers de 3,85 à 6,60 mètres de longueur.

Les coudes sont en tôle soudée au gaz à l'eau, et les pièces

noyés dans le béton et servant de guidage aux viroles pendant leur descente dans le puits assurent le rôle de drains.

Toutes les pièces ont été essayées individuellement soit à l'usine, soit au chantier avant la mise en place ; en outre, la conduite entière a été essayée à la pression statique majorée de 6 kg/cm².

Deux cheminées d'équilibre et une chambre d'accumulation permettant de réduire les effets des variations brusques de charge dans la marche des machines (fig. 14), les cheminées d'équilibre sont placées au-dessus des conduites forcées ; la chambre d'accumulation, de 5.000 m³ de capacité est placée à 200 mètres environ à l'amont de la bifurcation des canaux secondaires sur le canal d'amenée. Une cheminée la met en com-

Fig. 11. — Le barrage de la Bromme est un barrage-voûte avec crête déversoir ; la hauteur du barrage est de 36 m. ; la réserve d'eau est de 200.000 m³.

de bifurcation, qui pèsent respectivement 19 et 28 tonnes sont en acier coulé.

L'assemblage des viroles entre elles a été facilité par un manchon extérieur soudé à l'arc à la partie inférieure de chacune et à l'intérieur duquel s'emboîte à frottement doux la virole inférieure. Après bétonnage de l'intervalle compris entre le rocher et les viroles, celles-ci ont été soudées à l'arc électrique de l'intérieur de la conduite.

Les viroles de la partie inférieure des puits, n'ont pu être soudées en une seule fois leur épaisseur étant supérieure à 25 millimètres ; aussi la soudure a été faite moitié de l'intérieur, moitié de l'extérieur de la conduite, ce qui nécessita une augmentation de la largeur des puits pour laisser un passage suffisant aux ouvriers soudeurs.

Le béton de remplissage a été injecté sous pression après soudure par des trous pratiqués préalablement à cet effet dans la conduite et obturée ensuite.

Trois tuyaux métalliques de 15 centimètres de diamètre

Fig. 12. — Coupes du canal d'amenée de Bromme aux puits : a, profil avec radier en béton et enduit au ciment-gunt ; b, profil avec revêtement.

munication avec un déversoir arasé à la cote de la retenue normale.

Les cheminées d'équilibre, la chambre d'accumulation et son déversoir sont calculés pour permettre :

1^o Le passage brusque de la marche à demi-charge à une marche à pleine charge de l'ensemble des 6 groupes sans que le plan d'eau s'abaisse au point de permettre une rentrée d'air dans le canal ;

2^o L'arrêt brusque des 6 machines marchant à pleine charge sans que la surélévation du plan d'eau puisse atteindre la cote 565 du bord supérieur des cheminées d'équilibre.

Chaque cheminée d'équilibre est munie de 2 vannes : l'une à fermeture brusque commandée du haut de la cheminée ou de l'intérieur de l'usine, permet d'isoler en 20 ou 30 secondes l'usine du canal en cas d'accident ; l'autre, à fermeture lente,

ter, dans la mesure du possible, que des infiltrations cheminant dans le terrain puissent se mettre en charge autour de la conduite forcée. Ce chemisage raccordé aux seuils des vannes est constitué par des tôles soudées entre elles à l'arc électrique.

Fig. 13.— Deux conduites forcées, établies dans des puits verticaux, alimentent l'usine, et chaque conduite se divise à la base en trois conduites secondaires "qui" aboutissent aux robinets sphériques commandant les turbines.

fonctionnant après la première, assure une très bonne étanchéité. Une vanne de vidange servant à l'évacuation des eaux de la cheminée d'équilibre peut d'ailleurs éliminer les fuites qui se présenteraient.

Ainsi aucune chute d'eau notable ne viendra troubler une équipe de visite ou de réparation, travaillant dans la conduite forcée, pendant que l'autre conduite est en fonctionnement. Un chemisage métallique revêtant toute la surface de la cheminée d'équilibre et sur une trentaine de mètres les canaux secondaires permettent d'évi-

VIII. — Usine souterraine de Brommat

Après avoir longuement comparé les deux solutions consistant, l'une à créer une usine alimentée par une conduite forcée descendant le long de la montagne, et l'autre à créer une usine souterraine, l'on s'est arrêté à cette dernière solution qui offre plus de sécurité pour la conduite et moins de frais d'installation.

Cette solution originale a conduit à creuser dans la masse rocheuse une excavation d'environ 32 m de hauteur, 22 m de largeur et 80 m de longueur, excavation des plus rares à trouver dans le monde.

La voûte est constituée d'un revêtement de maçonnerie non armée d'une épaisseur d'au moins 0,80 mètres (fig. 15).

Le bâtiment se compose de 8 travées :

Deux travées centrales : l'une de 9 mètres pour la recette de la galerie de service inclinée ; l'autre, de 4 m. 50 pour le montage, et six travées latérales, groupées par trois de part et d'autre des deux précédentes.

Deux travées quelconques sont séparées :

1° Dans la partie centrale de l'usine, par un gros mur reposant sur le sol de fondation et supportant les poutres d'alternateurs ;

2° Dans les parties latérales, par deux palées, l'une à l'amont, l'autre à l'aval, composées chacune de deux gros poteaux en béton armé réunis par des poutres horizontales à la hauteur de chaque plancher ; ces palées s'appuyant sur le sol de fondation, sur le gros mur de support des alternateurs et sur la paroi rocheuse de l'usine, supportent les planchers des cellules latérales des divers étages, et, à leur partie supérieure, le chemin de roulement des ponts roulants et la retombée de la voûte.

Les aménagements intérieurs de la carcasse ainsi constituée présentent quelques particularités.

Fig. 14.— Coupe schématique des installations de Brommat : A, canal d'amenée ; B, chambre d'accumulation ; C, cheminées d'équilibre ; D, conduites forcées en puits ; E, usine souterraine ; F, chambre d'expansion ; G, canal de fuite ; H, galerie inclinée d'accès à l'usine ; J, ateliers, tableaux, bureaux, salle des treuils ; K, poste de transformation ; L, origine des canaux secondaires.

Les alternateurs étant ventilés en circuit fermé, pour assurer une ventilation générale dissipant les calories dégagées par le groupe auxiliaire, les câbles et l'appareillage, de l'air frais, amené dans une galerie spéciale, est réparti sur toute la longueur de l'usine par la galerie de visite des tubes d'aspiration ; de là,

Fig. 15. — L'usine de Brommat, creusée à 300 m. de profondeur, dans le granit compact, comporte un équipement de six groupes d'une puissance totale de 250.000 chevaux,

il remonte à l'étage des turbines, puis dans la salle des alternateurs, ou dans les cellules latérales, pour gagner l'espace compris entre le revêtement de la voûte et une fausse voûte ; une gaine ménagée sur la paroi aval de l'usine évacue alors l'air frais dans la galerie des gros câbles d'où il est aspiré par un ventilateur placé à l'extérieur en haut de la galerie inclinée à l'intérieur de l'usine, le réglage de la ventilation se fait au moyen de volets.

Dans l'éventualité d'une rupture de bêche ou de vanne, il est possible de fermer depuis l'usine les vannes de tête des conduites forcées ; en outre, des volets permettent d'évacuer directement dans le canal de fuite l'eau inondant l'étage des turbines.

Enfin, pour limiter le risque d'inondation de la salle des alternateurs, les communications entre l'étage des alternateurs et celui des turbines ne sont assurées qu'en trois points, aux extrémités et au centre.

Pour diminuer les dimensions de l'excavation on s'est efforcé de réduire au minimum les opérations

faites dans l'usine souterraine, outre deux ponts roulants, celle-ci ne renferme donc que les turbines, les alternateurs et leur matériel de réglage le groupe auxiliaire, ainsi que les tableaux des instruments de mesure permettant de surveiller le fonctionnement individuel de chacun de ces appareils. Tout ce qui concerne la protection et le couplage a été reporté à l'extérieur.

Turbines. — Comparées aux roues Pelton, les turbines Francis nécessaires à l'équipement de la chute présentaient le triple avantage d'un meilleur rendement, d'une plus grande hauteur de chute nette et surtout d'un encombrement moindre réduisant d'autant l'excavation à creuser.

Pour assurer le bon fonctionnement de turbines Francis aussi puissantes, travaillant sous une chute aussi élevée, on a :

1^o réduit à 2,50 mètres en moyenne la hauteur d'aspiration pour diminuer les phénomènes de cavitation ;

2^o Accru les dimensions des conduites pour se dispenser d'appareil déchargeur par réduction des coups de bélier compte tenu du PD2 des alternateurs.

Une vanne sphérique en acier coulé dont la fermeture peut être commandée soit manuellement du tableau du groupe, soit automatiquement par le régulateur protège la turbine immédiatement à l'amont (fig. 13).

Un cône calibré interposé entre la conduite et le robinet permet la mesure du débit à tout instant (fig. 13).

Construites par les maisons Voith et Neyret Beylier, ces six turbines sont semblables et peuvent donner à pleine ouverture une puissance minimum de 39.000 CV sous 240 mètres de chute nette et 42.500 CV sous 256 mètres (fig. 16).

Les rendements sont :

	100 %	80 %	60 %	40 %
Sous 240 m. à 39.000 CV	87 %	89 %	85,5 %	78 %
Sous 248 m à 41.000 CV	87 %	89 %	85,5 %	77,5 %
Sous 256 m. à 42.050 CV.....	86,5 %	89 %	85 %	77 %

pour des décharges de 25, 50 et 100 % de la puissance nominale à zéro, les survitesses ne dépassent pas 4,10 et 25 % de la vitesse normale, le P. D. 2 des parties tournantes de l'alternateur étant égal à 300 T/m².

Fig. 16. — Sous l'étage des alternateurs sont installées les six turbines Francis, d'une puissance unitaire de 42 000 Ch., fonctionnant sous une chute nette de 256 mètres.

L'écart total de la vitesse entre la marche à vide et la marche en charge à pleine puissance sans toucher au régulateur est réglable entre 0 et 5 % de la vitesse normale ; le régulateur ramène la turbine à sa vitesse de régime en moins de 25 secondes.

La vitesse de régime est d'ailleurs réglable à la main de 5 % en plus ou en moins de la vitesse normale.

En cas de décharge brusque et totale des machines, la turbine étant à pleine admission, l'alternateur étant couplé et le régulateur hors de service, la vitesse d'emballlement de la turbine sous la chute de 256 mètres ne dépasse pas 920 t/m.

Pour réduire l'usure dû aux phénomènes de cavitation et pour diminuer les risques de rupture, les roues des turbines sont en bronze et les bâches en acier coulé.

Enfin, la vitesse de rotation égale à 500 t/m correspond à une vitesse spécifique de 108 considérable pour une turbine Francis fonctionnant sous 250 m de chute.

Alternateurs. — Les transformateurs haute tension devant être placés à l'extérieur de l'usine, à une distance d'au moins 350 mètres, tout le courant doit être transporté à la tension des alternateurs sur cette distance. Pour réduire les inconvénients inhérents à ce transport, il a été décidé d'élever le plus possible la tension des alternateurs de 32.500 kW qui a été en définitive choisie de 15.000 volts ; en outre, comme ces machines doivent débiter sur un réseau très étendu et très chargé, il a été prévu des conditions particulièrement sévères pour la régulation.

A cet effet, l'excitation est assurée par deux excitatrices en bout d'arbre de chaque alternateur (fig. 17).

Fig. 17. — La salle des excitatrices, vaste hall de 75 mètres de longueur. L'étage inférieur est occupé par les six alternateurs dont les couvertures, en tôle striée, apparaissent dans la salle des excitatrices.

L'excitatrice principale est prévue pour donner une tension voisine du double de la tension normale afin de pouvoir obtenir un effet de réglage extrêmement rapide.

Cette excitatrice principale comporte, branchés sur les sommets du pont de Wheatstone commandant un régulateur Tirrill :

a) Un enroulement de régulation normalement seul en service et capable de faire produire à l'excitatrice principale, par sa constante de temps relativement élevée, une tension supérieure d'environ 20 % à la tension d'excitation en charge ;

b) Un enroulement d'impulsion à constante de temps très faible n'entrant en jeu qu'en cas de baisse importante de tension et suffisant pour donner le supplément de force magnéto motrice nécessaire en cas de court-circuit.

L'excitation de l'alternateur est ainsi considérablement renforcée dans un temps extrêmement court ce qui contribue à améliorer les conditions de stabilité du réseau.

Les excitatrices sont en outre munies d'un système de dés-excitation rapide, dont le fonctionnement est lié à celui du disjoncteur principal du groupe.

Le groupe auxiliaire, à axe horizontal, est constitué par une turbine Pelton à un seul jet et d'une puissance de 1.500 CV et tournant à la vitesse de 750 t/mn ; cette turbine entraîne un alternateur de 1.500 kVA sous 5.500 V.

L'équipement de cette usine souterraine est complété par deux ponts roulants. L'un, à chaîne Galle, comporte deux chariots avec crochet de 70 t qu'un palonnier spécial permet d'accoupler pour le levage des rotors avec leurs pôles et un troisième chariot de 5 t. L'autre comporte un chariot avec crochet de 15 t.

IX. — Galerie de service inclinée

Le courant des alternateurs à la tension de 15.000 volts est transporté à l'extérieur par la galerie de service inclinée

Fig. 18 — La galerie d'accès à l'usine, de 300 mètres de longueur et inclinée à 60 %, est desservie par un chariot pour les lourdes charges (65 tonnes) et un ascenseur pour le personnel.

où passent aussi toutes les manutentions ainsi que tous les petits câbles destinés à permettre d'assurer, depuis le bâtiment extérieur, toutes les opérations de mesure et de commande. Les dimensions de cette galerie, creusée dans le rocher, sont réduites dans toute la mesure possible, et c'est une des raisons pour lesquelles le transport du courant 15.000 volts se fait par câbles au lieu de barres. Ces câbles triphasés, du type équipotentiel, sont placés sur des tablettes accrochées aux parois de l'étage inférieur de la galerie inclinée. Leur nombre est de 6 par alternateur.

L'étage supérieur, séparé du précédent par une dalle pleine en béton armé, comporte une voie pour le passage d'un chariot capable de porter une charge de 65 tonnes qui correspond à la pièce la plus lourde (rotor sans pôle) qu'il a à manutentionner. Il est manœuvré par un treuil électrique à vis globique et à

pendant à une turbine. Une passerelle permet d'y accéder de la galerie d'air frais.

XI. — Bâtiment pour atelier et services divers

La galerie de service inclinée débouche à l'intérieur de ce dernier bâtiment, placé à flanc de coteau dans un terrain en pente très inclinée. Il est adossé au bâtiment de l'atelier qui a même longueur, mais qui est décalé, à cause de la pente, de trois étages en hauteur. Devant le bâtiment du tableau, du côté de la vallée où coule la Bromme, s'alignent les transformateurs éleveurs de tension ; enfin, dans son prolongement, se trouvent les transformateurs des services auxiliaires (fig. 19).

Le bâtiment du tableau a quatre étages. A l'étage supérieur placé au niveau de l'accès par la route se trouve, en outre des pièces de réception des visiteurs et des bureaux, la salle de commande où se trouvent rassemblés les appareils de mesure et de commande permettant de faire toutes les constatations instantanées et toutes les manœuvres nécessaires à la marche, non seulement des machines principales et des services auxiliaires de l'usine, mais encore des transformateurs et du poste de répartition.

L'étage immédiatement inférieur au précédent comporte les panneaux des appareils enregistreurs ou totalisateurs dont les renseignements n'ont pas un caractère d'utilité immédiate, ainsi que les panneaux des relais et la plate-forme d'embarquement pour l'ascenseur.

Le premier étage sert d'étage de répartition pour tous les petits câblages.

Le rez-de-chaussée comprend les services axiliaires à 5.500 volts (barres et disjoncteurs) et aussi, comme nous l'avons

deux vitesses (15 m. p. min. pour charges inférieures à 15 tonnes, 4 m. p. min. pour charges supérieures).

Pour le transport du personnel, un ascenseur d'une force de 5 tonnes et d'une vitesse linéaire de 1 m. p. sec. peut circuler sur la même voie.

Enfin, sur les parois verticales de l'étage supérieur de la galerie sont accrochés les petits câbles destinés à la transmission des mesures et des commandes qui aboutissent au rez-de-chaussée du bâtiment du tableau, à l'intérieur duquel ils sont répartis (fig. 18),

X. — Canal de fuite

Le canal de fuite, à écoulement libre, présente dans la partie amont une chambre de démarrage d'un volume suffisant pour permettre le passage brusque de la marche de 3 à 6 turbines sans remplissage complet (fig. 14) ; une communication avec la galerie d'amenée d'air frais prévue à la partie supérieure de la chambre forme ventouse.

Le canal de fuite, réunion des canaux individuels des turbines, a diminué dans une notable proportion, par l'ensemble des excavations, la partie pleine du rocher supportant la retombée des voûtes de l'usine, ce qui a nécessité pour être certain de la qualité de cet appui, un revêtement particulièrement soigné des canaux et des injections dans le rocher qui les sépare.

Enfin, la chambre de démarrage où doivent être faites les mesures de débit destinées au calcul du rendement des turbines a été calibrée au moment des essais par des cloisonnements qui réduisent la largeur à la valeur permettant les mesures les plus faciles au moulinet du débit de $14 \text{ m}^3/\text{seconde}$, corres-

vu précédemment, les deux treuils de manœuvre du chariot et de l'ascenseur utilisant le plan incliné de la galerie de service.

Tout ce bâtiment est traité en béton armé.

L'atelier est un hall en béton armé placé au niveau du troisième étage du bâtiment du tableau. Il se trouve ainsi à l'extré-

Fig. 19. — Sur l'éperon du Brézon, entre Truyère et Bromme, au débouché de la galerie d'accès à l'usine, sont établis les bâtiments des services divers, notamment les appareils de contrôle et de commande des groupes, et le poste de transformation avec bâtiment de décuvage.

Fig. 20. — La plateforme des transformateurs, d'une longueur de 150 mètres, couvre la salle des câbles 15 000 volts et supporte le portique de départ.

mité de la route d'accès et les charges lourdes peuvent y pénétrer directement à une extrémité ; à l'autre extrémité, il enjambe le débouché supérieur de la galerie de service inclinée, et le pont roulant de 80 tonnes, qui le dessert sur toute sa longueur, permet donc la manutention de toutes les pièces lourdes depuis le véhicule routier jusqu'au chariot de la galerie. On y a aménagé, en outre, une fosse spéciale pour le montage d'un rotor d'alternateur muni de son axe.

XII. — Poste élévateur à 150 kV et à 220 kV du Brézou

Dans le but de réduire la longueur des câbles, les transformateurs élévateurs devaient être placés aussi près que possible des alternateurs, c'est-à-dire à la sortie même de la galerie des câbles. La nature du sol, qui aurait entraîné des terrassements trop importants, a conduit à l'emploi de transformateurs élévateurs triphasés de 32.500 kVA, avec circulation d'huile refroidie par des ventilateurs. Six appareils sont identiques, 15.000/220.000 V ; un appareil 15/150 kV et un huitième 15/150 ou 220 kV, permettent d'utiliser les six alternateurs de l'usine d'une façon complète et d'alimenter en énergie les divers réseaux tout en disposant de transformateurs de rechange.

Sous cette plate-forme et sur toute sa longueur (150 m) se trouve la salle 15.000 V avec barre by-pass permettant à un alternateur quelconque de débiter sur un transformateur quelconque en cas d'immobilisation d'un de ces appareils (fig. 20).

XIII. — Poste de Rueyres

L'énergie, élevée à 150 kV ou 220 kV par les transformateurs, est transportée au poste de *Rueyres*, distant de 1,6 km, situé sur un plateau dominant la région, par quatre lignes doubles en câble aluminium-acier de 356 mm² (fig. 21).

Ce poste sert de coupure et de répartition à l'énergie venant des usines de Brommat et de Sarrans et envoyée sur Paris, Saint-Etienne, Clermont-Ferrand.

Il recevra également, par l'intermédiaire du poste de Viviez, l'énergie des Pyrénées : c'est le point de jonction des grands réseaux de transport à très haute tension (fig. 2).

XIV. — Conclusions

Par la capacité et par la puissance de sa production, qui atteignent respectivement plus de 800.000.000 kWh en année moyenne et 270.000 kW à certaines époques de l'année, l'ensemble Sarrans-Brommat constitue l'usine la plus importante de France et peut-être d'Europe. Il n'est sans doute pas d'aménagement qui présente autant d'intérêt par ses dispositions : Ouvrages de Génie Civil, appareils mécaniques et électriques atteignent des dimensions, ou répondent à des conditions qui ont été rarement, ou qui n'ont même jamais été atteintes.

L. RATAUX.

Fig. 21. — Les pylônes des lignes de jonction du Brézou à Rueyres supportant chacun deux lignes triphasées.