Zeitschrift: Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 55 (1963)
Heft: 8

Artikel: L'aménagement hydroélectrique de Schiffenen
Autor: Piller, Louis / Gicot, Henri / Oberlé, Robert
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-921536

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 01.08.2025

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

L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE SCHIFFENEN

des Entreprises Electriques Fribourgeoises (EEF)

I. CARACTERISTIQUES GENERALES

par Louis Piller, Ing. Conseil EEF

CDU. 621.221

Pour leur production d'énergie hydroélectrique les EEF dépendent de la Sarine et de ses affluents, cours d'eau torrentiels, avec débits irréguliers et variables. Les chutes disponibles sont moyennes ou basses. Les bassins de retenue ne sont pas de capacités suffisantes pour constituer des accumulations saisonnières. Les EEF, dès lors, sont et seront toujours tributaires du dehors pour assurer la couverture de leurs pointes de consommation et la compensation des irrégularités des débits de leurs cours d'eau. Elles devront en tout temps acheter de l'énergie, et veiller à ce que le volume de ces achats ne compromette pas leur équilibre financier.

Chaque nouvelle usine ramène momentanément l'ampleur de leurs achats à une proportion acceptable en regard de la production propre. Elle stabilise cette dernière à un nouveau palier plus élevé. Cependant la consommation d'énergie continue à croître inexorablement de sorte qu'avec le temps un nouveau déséquilibre tend à se former et une nouvelle usine devient nécessaire pour y parer.

L'aménagement dit de Schiffenen utilise la chute qui correspond au cours inférieur de la Sarine, de la Ville de Fribourg à Laupen. Il s'imposait, de préférence à tout autre, parce que son exploitation peut être conjugée avec celle de l'aménagement de Rossens-Hauterive, sis plus à l'amont, dont la retenue, le lac de la Gruyère de 180 millions de m³ utiles, permet une régularisation partielle des débits.

L'implantation du barrage, imposée par la nature des lieux, a été faite entre Schiffenen et Petit-Cormondes. Les berges de la Sarine y possèdent les derniers contreforts rocheux pouvant servir d'appuis aux culées.

L'emplacement de la centrale a été choisi au pied du barrage vers la rive gauche à 4 km en amont de l'extrémité utilisée du cours d'eau. Cette anomalie est due à la mauvaise qualité, entre Schiffenen et Laupen, du rocher qui aurait rendu aléatoire l'exécution d'une galerie d'alimentation. Pour ne pas perdre la chute du tronçon sis à l'aval de la centrale, le lit de la Sarine, sur toute cette distance, a été approfondi en son milieu pour constituer un chenal de fuite anormalement long et de pente 0,5 ‰. Il en est résulté que l'usine est très profondément encastrée dans le terrain.

D'entente avec les cantons de Fribourg et de Berne et avec les Forces Motrices Bernoises, usagers aval, les débits extrêmes ont été arrêtés à un maximum de 135 m³/sec., crues et déversements réservés, et à un minimum de 5 m³/sec, eau de dotation à laisser en permanence au lit de la Sarine.

Le débit maximum peut être fourni par les deux groupes principaux travaillant à ¾ de charge. Ceux-ci sont en effet surdimensionnés, chaque turbine, du type Kaplan, de 48 200 CV, pouvant absorber 90 m³/sec. Cette disposition spéciale a été adoptée afin d'éviter de devoir installer un troisième groupe de réserve pour les révisions et réparations.

Le débit minimum sera fourni par un groupe auxiliaire avec turbine Francis double de 3120 CV, pouvant absorber jusqu'à 6 m³/sec.

Le niveau maximum de la retenue est à la cote 532. Il crée une accumulation de 66 millions de m³, dont 48 utiles

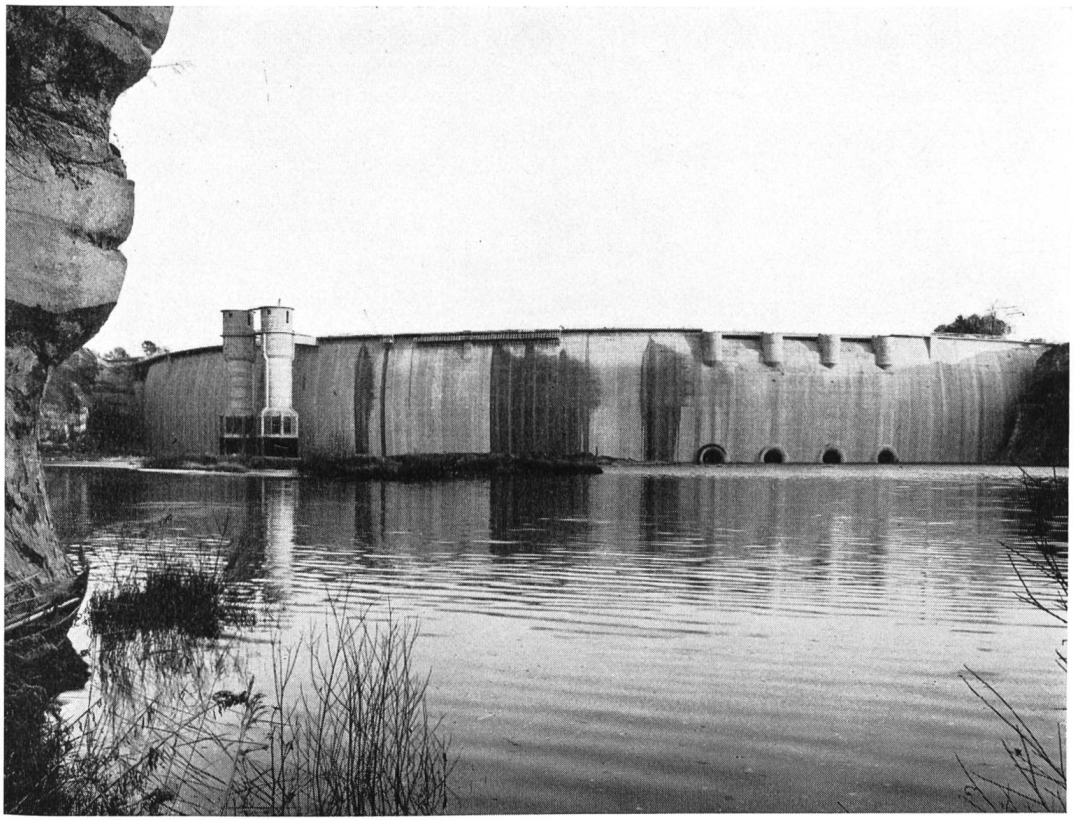

Fig. 1 Barrage et prise d'eau. Vue de l'amont.

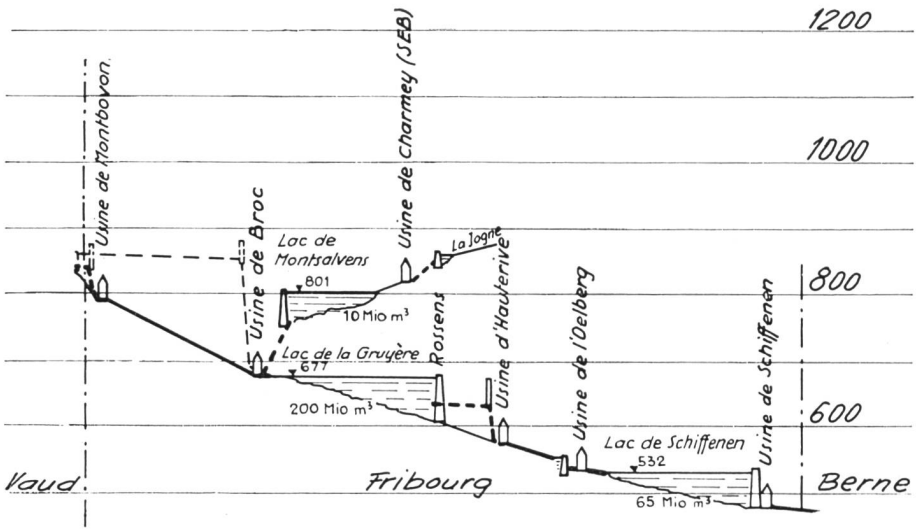

Fig. 2 Utilisation de la Sarine dans le canton de Fribourg

pour un abaissement exceptionnel de 15 m du plan d'eau. Pratiquement l'abaissement ne dépassera que rarement quelques mètres, car le lac travaillera comme retenue journalière; il se creusera aux heures de pointe pour se remplir aux autres heures et spécialement pendant la nuit.

Sous la cote 532, les chutes brutes seront de 44 m pour un débit de 135 m³/sec et de 48,2 m pour le débit de 5 m³/sec.

Le chenal de fuite a été creusé à partir de l'aval. Pour pouvoir l'exécuter à sec la Sarine avait été déviée à travers un canal provisoire aménagé le long de sa berge, rive droite, et pouvant débiter 80 m³/sec.

Le barrage, traité en détails plus loin, est du type voûte-poids. Il assurera le trafic entre les deux rives, en remplacement du pont de Schiffenen qui sera submergé. Ses routes d'accès sont achevées.

Chacun des deux alternateurs principaux, de 42 000 kVA, 10 kV, forme bloc avec un transformateur placé dans une station en plein air attenante à l'usine. De là partent vers les réseaux EEF deux lignes à 65 kV et deux lignes à 130 kV. L'alternateur auxiliaire de 2800 kVA, 3 kV, est raccordé par un transformateur et des câbles souterrains au réseau voisin 17 kV.

La production annuelle moyenne sera de 135 GWh dont 64,8 (48 %) d'hiver et 70,2 (52 %) d'été.

L'ensemble des dépenses a été devisé à 70 000 000 francs en 1959. Le prix de revient moyen correspondant de l'énergie au départ de l'usine aurait été de 3,9 ct le kWh. Ce devis initial sera nécessairement dépassé. L'augmentation de l'ordre de 8 à 10 % s'explique aisément: Les prix, spécialement ceux de la main-d'œuvre, n'ont cessé de croître depuis lors. Il en est de même pour les acquisitions de terrains et les diverses indemnités. Enfin le volume de béton du barrage a dû être augmenté en raison de la rencontre à certains endroits de roche de qualité moindre que celle prévue. Le prix de revient de l'énergie s'élèvera dès lors à 4,2 ou 4,3 ct le kWh. Ce prix peut encore être accepté du fait que près de 90 % de l'énergie produite par l'usine sera de l'énergie de pointe, donc de qualité.

Les travaux principaux ont débuté à fin 1960. Le gros œuvre du barrage a été terminé à fin 1962, le remplissage de la retenue s'effectuera pendant l'été et l'automne 1963. Le premier groupe doit tourner vers fin 1963 — début 1964 et le second au printemps 1964, qui verra l'achèvement de tous les travaux.

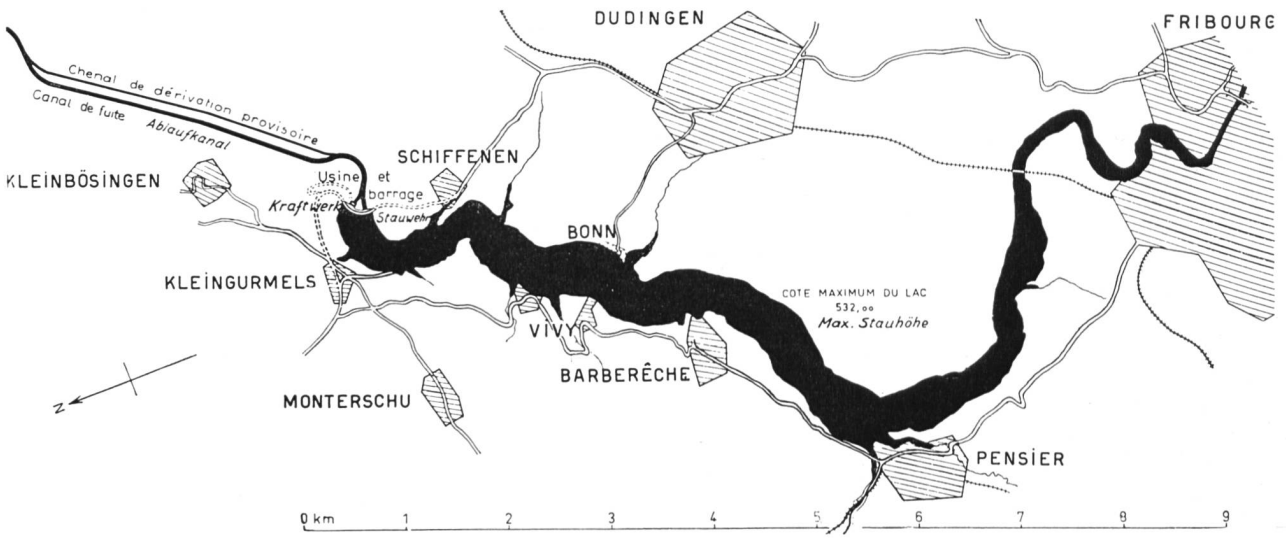

Fig. 3 Aménagement de Schiffenen: lac, barrage, usine, canal de fuite

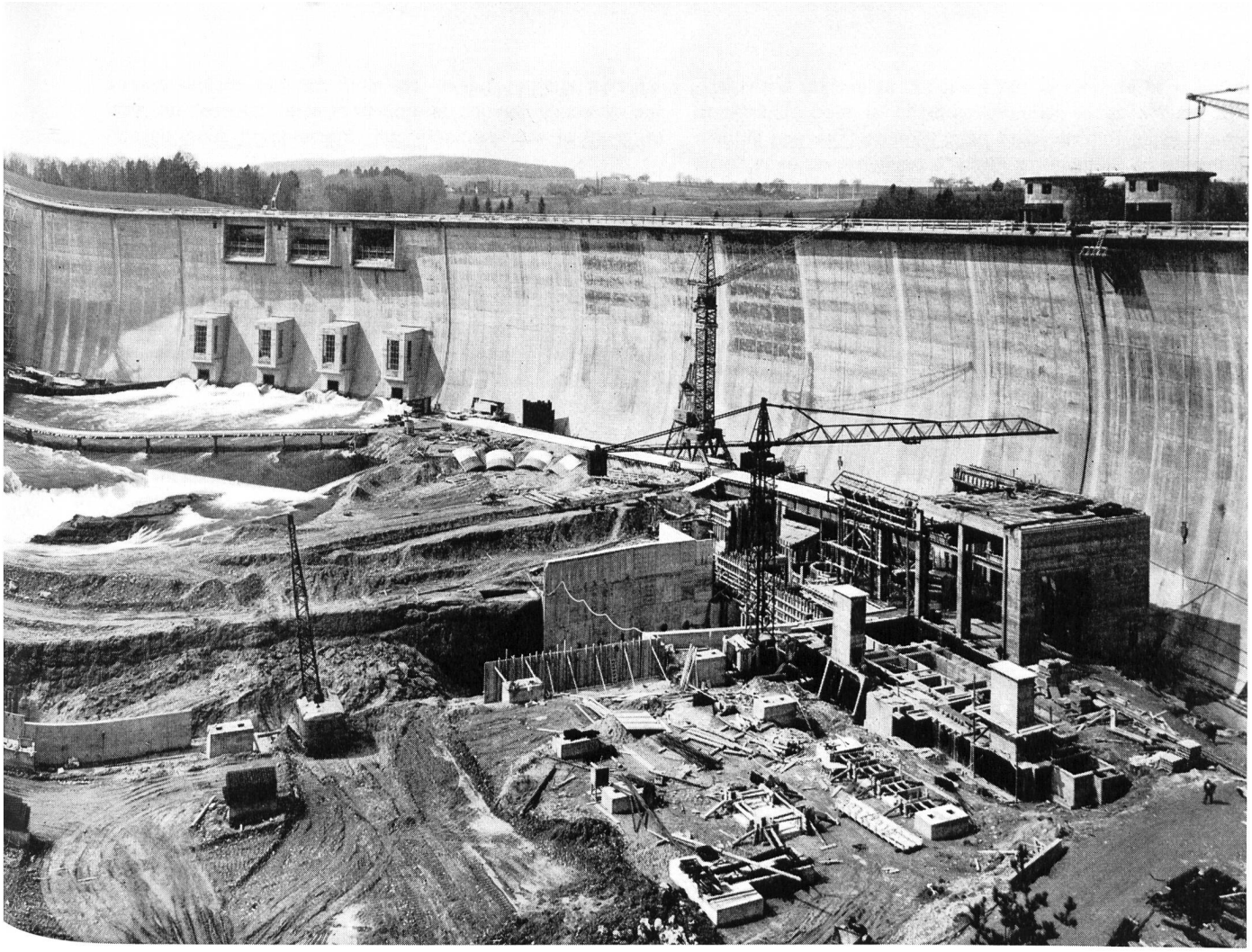

Fig. 4 Vue de l'aval. Au premier plan à droite la centrale en construction.

II. BARRAGE

par Henri Gicot, ing. conseil

CDU 627.8

Jusqu'à une quinzaine de km à l'aval de Fribourg, la Sarine coule dans une vallée peu profonde, mais assez large et qui se prêtait à la création d'un bassin d'accumulation d'une capacité totale de 66 millions de mètres cubes avec retenue à la cote 532,0.

A l'emplacement du barrage, la vallée est large d'environ 300 m. Son fond plat, à peu près horizontal, est bordé de chaque côté par des falaises presque verticales. La rivière y coulait sur le rocher, à la cote moyenne 494,0. Hors de la rivière, le fond était recouvert, tant à l'amont qu'à l'aval, d'une couche de quelques mètres d'alluvions formées en partie de dépôts stériles, et en partie de graviers et sables de bonne qualité.

La constitution géologique du sol de fondation présente des particularités assez remarquables. Les falaises qui bordent la vallée sont formées de molasse marine, grès tendre, compact, homogène et étanche, qui ne présente, sauf au voisinage immédiat de la surface, ni failles, ni fissurations. Cette molasse est très semblable à celle de Rossens, dont le barrage-voûte, achevé en 1948 se trouve à une quinzaine de km à l'amont de Fribourg.

Par contre, sous une faible couche de molasse marine, tout le fond de la vallée se trouve dans la molasse d'eau douce, de caractère très différent. Cette molasse est constituée en effet par des couches à peu près horizontales de faible épaisseur, de grès durs ou tendres alternant avec des marnes plus ou moins calcaires, séparés parfois par de très minces lits argileux ou sableux. Cette formation est à peu près étanche dans le sens vertical, mais sa constitution feuilletée la rend très perméable dans le sens horizontal. Lors des forages du rideau d'injections, on y a même rencontré, à une quinzaine de mètres de profondeur, une circulation d'eau, qui ne provenait pas de la rivière, mais des flancs de la vallée.

Les conditions topographiques et géologiques très particulières du site posaient un problème difficile pour le choix du type du barrage. A première vue, la grande largeur de la vallée par rapport à sa hauteur paraissait exclure un ouvrage du type voûte. Une digue en terre étant écartée pour de multiples raisons (matériaux nécessaires, dérivation des eaux pendant la construction, problèmes posés par les prises d'eau, les évacuateurs de crues et les vidanges), le barrage poids rectiligne paraissait s'imposer.

Toutefois, pour ce type de barrage, et étant donné le caractère très spécial du sol de fondation, se posait l'importante question des sous-pressions et éventuellement celle de la sécurité au glissement. Il aurait été imprudent d'adopter schématiquement, dans le cas en présence, les règles habituelles sur les sous-pressions, car même un bon drainage n'aurait pas été une garantie complète contre des

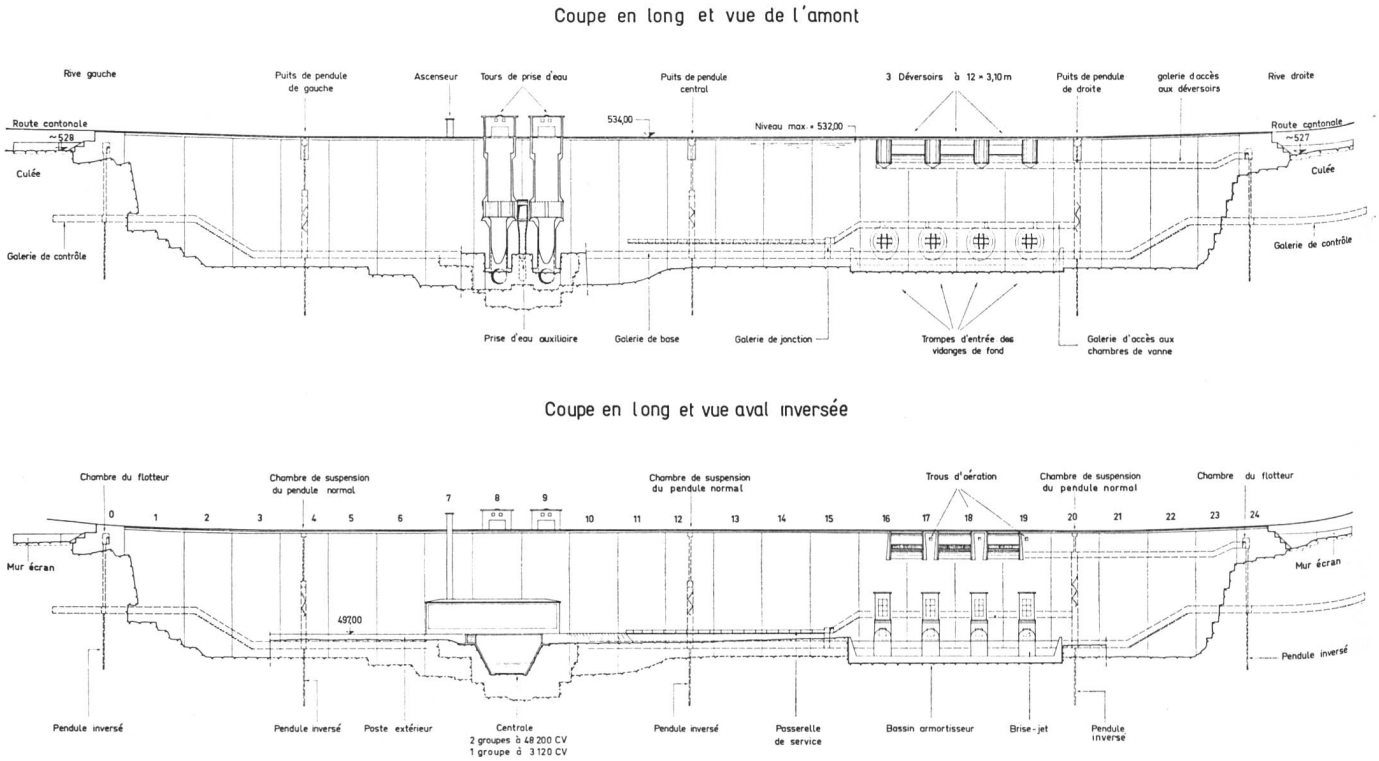

Fig. 5 Le barrage, coupe en long. Vue de l'amont et vue de l'aval.

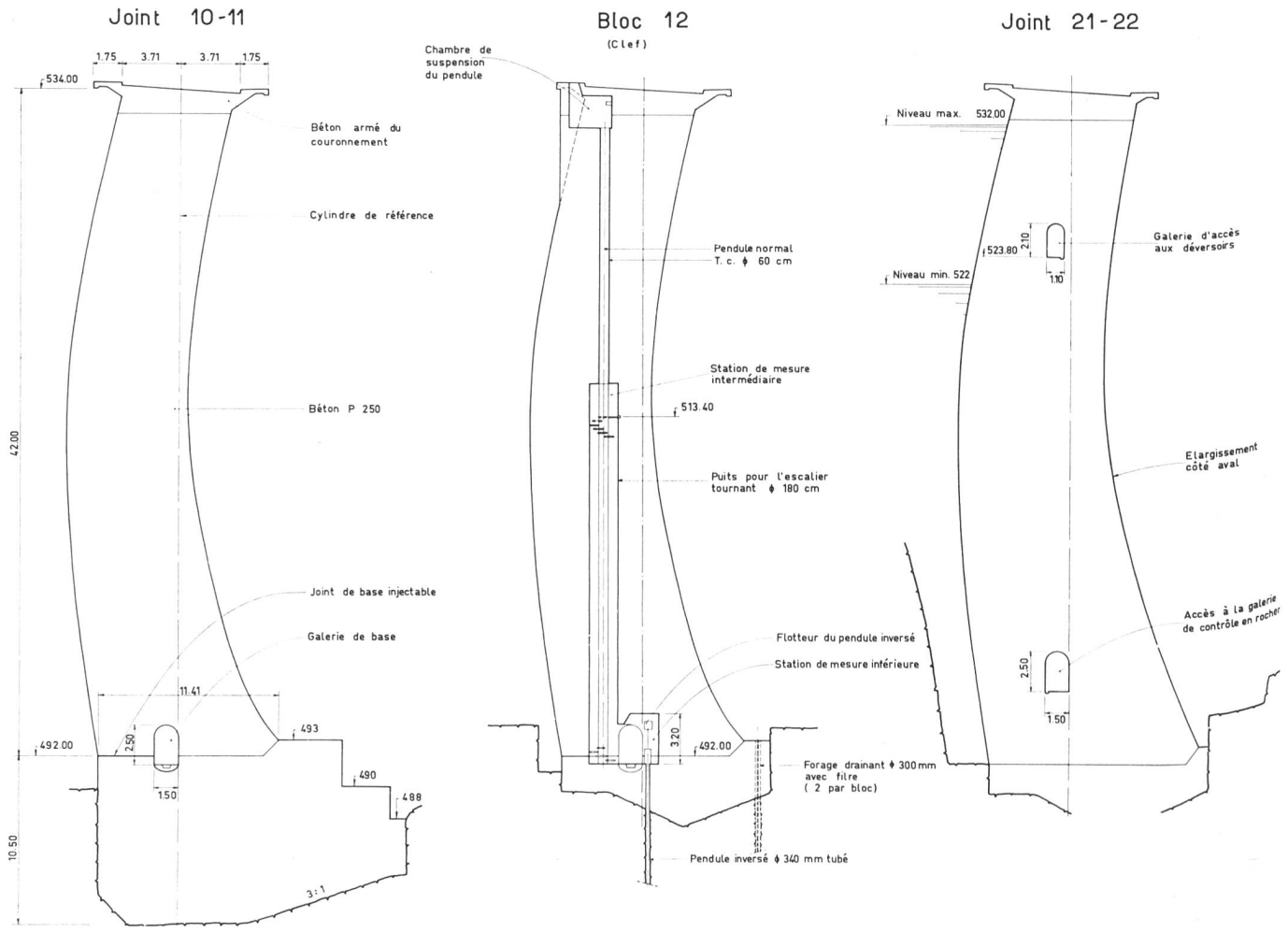

Fig. 6 Le barrage, coupes en travers.

sous-pressions régnant dans les lits horizontaux perméables, au-dessous de la fondation, et pouvant s'exercer sur des surfaces notablement plus étendues que la base du barrage.

D'autre part, un barrage poids ne permettait pas d'utiliser, en vue de la sécurité, la résistance des falaises latérales constituées, comme nous l'avons dit, d'une molasse de bien meilleure qualité, homogène et exempte de fissurations. Pour faire appel à la résistance des massifs rocheux latéraux, il fallait d'abord donner au barrage une courbure suffisante, puis réduire le profil en travers à la base afin d'obtenir une action de voûte efficace. C'est ainsi que l'on a été conduit à la solution «voûte-poids», que les calculs ont montrée réalisable, malgré le rapport extrême entre la longueur et la hauteur de l'ouvrage, grâce au module de déformation très bas de la molasse. C'est en effet la grande déformabilité du sol qui donne aux sections verticales, ou cantilèvres, une mobilité suffisante pour leur permettre de suivre les déformations des arcs. Un tel ouvrage ne serait pas réalisable dans le cas d'un rocher de fondation d'un module d'élasticité élevé.

Le choix du type de barrage a donc été dicté tout d'abord par des considérations de sécurité, et ensuite par des motifs d'ordre économique, car malgré les sujétions supplémentaires auxquelles est soumis le barrage voûte, la réduction du volume de béton se traduit encore par une économie intéressante. Il faut aussi noter que la quantité d'alluvions utilisables déposées sur le fond de la vallée et disponibles pour la construction était assez limitée. Elle n'aurait pas suffit pour un cube de béton plus élevé, ce qui aurait posé un problème d'approvisionnement en gravier et sable coûteux à résoudre.

La hauteur du barrage, entre la fondation et le couronnement, est en moyenne de 46 à 47 m sur toute la longueur de l'ouvrage. L'épaisseur est de 7 m au couronnement, à la cote 534,0 et de 12 m à la base, à la cote 492,0. Au-dessous de cette cote, le socle de fondation s'élargit et pénètre encore d'environ 4 à 5 m plus profondément dans la molasse, dans laquelle il est encastré latéralement.

Les fondations des arcs pénètrent profondément dans les falaises, de manière à donner à la voûte des appuis tout à fait sûrs. Comme le dessus du massif de molasse se trouve, sur les deux rives, à un niveau inférieur de quelques mètres à la cote de la retenue, deux petites culées ont été nécessaires aux extrémités du barrage. Le plateau supérieur de molasse est recouvert d'un matelas de moraine imperméable qui n'a pas demandé de travaux d'étanchéité spéciaux, à part un mur écran de 2 m d'épaisseur et d'environ 15 m de longueur établi dans le prolongement de chaque culée.

Les arcs sont, à chaque niveau, d'épaisseur constante, jusqu'au voisinage des appuis où ils s'élargissent fortement afin de réduire les pressions sur le sol de fondation. Cette pression n'est, en moyenne, que de 8 kg/cm² dans l'axe des arcs, et atteint 12 à 15 kg/cm² au bord.

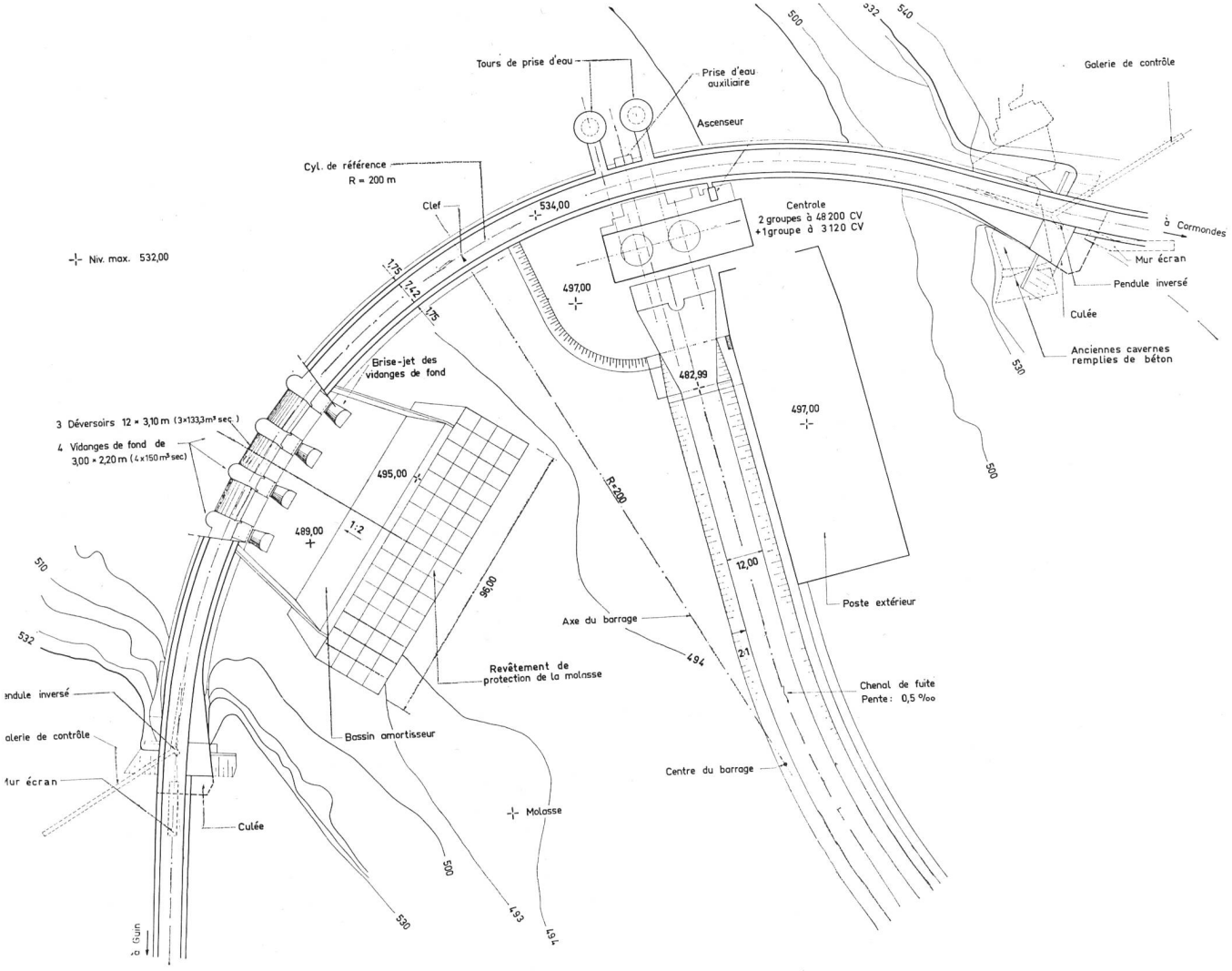

Fig. 7 Ensemble de l'ouvrage. Vue en plan.

Mises à part les extrémités élargies, le barrage est un corps de révolution, dont le rayon est de 200 m mesuré jusqu'au milieu du couronnement. La longueur totale de l'ouvrage, y compris les petites culées d'extrémité, est de 417 m.

Bien que les calculs n'aient pas accusé de contraintes de traction importantes au pied amont, on a néanmoins prévu ici un joint de base à la cote 492,0, en raison des variations probables du module de déformation de la molasse d'eau douce, et de la présence de «points durs» constitués par la centrale établie au pied du barrage et par le bassin amortisseur situé au-dessous du déversoir. Ce joint de base est traité de la même façon que les joints verticaux. Il est protégé à l'amont par une garniture d'étanchéité et il est équipé de rampes d'injection.

Le calcul a été fait pour un rapport de 10 entre le module du béton et celui du rocher, et il a été verifié par des essais sur modèles exécutés à l'ISMES (Bergamo). Ces essais ont mis en évidence une action de «voûtes plongeantes» plus accentuée que l'on ne pouvait attendre d'un ouvrage voûte aussi allongé. En outre, un calcul spécial a été fait, en admettant que le barrage pouvait glisser librement sur sa base, c'est à dire en attribuant toute la poussée hydrostatique aux arcs, et en supposant de plus que le rapport des modules entre béton et rocher serait, pour les arcs, non pas de 10, mais de 20. Même dans cette hypothèse extrême, les contraintes seraient encore tolérables.

Le couronnement du barrage est aménagé en chaussée de 7,42 m de largeur, bordée de 2 trottoirs en encorbellement, de 1,75 m. A l'aile droite se trouve l'évacuateur de surface d'une capacité maximum de 400 m³/s, composé de 3 pertuis fermés par des vannes clapets de 12 m de largeur et de 3,10 m de hauteur. Au-dessous de l'évacuateur se trouvent 4 ouvertures de vidanges dont la position est alternée avec celle des pertuis. Les conduites de vidange ont 3,10 m de diamètre et sont fermées chacune par deux vannes planes de 2,20 sur 3,10 m. Chaque vidange peut évacuer 150 m³/s sous la charge maximum, soit 600 m³/s pour les 4 conduites. L'énergie de la lame déversante des évacuateurs de surface sera détruite dans un bassin amortisseur de 6 m de profondeur d'eau. Celle des jets des vidanges sera dispersée par des diffuseurs tronconiques situés immédiatement à l'aval des conduites. Dans la zone d'impact des jets située pour les grands débits au delà du bassin amortisseur, le rocher est protégé par un revêtement de béton.

A l'aile gauche, les tours des prises d'eau sont indépendantes du barrage. Les conduites d'adduction, de 5,30 m de diamètre, ne traversent pas le barrage proprement dit — ce qui les aurait exposées à des déchirures — mais passent au-dessous du joint de base, dans le socle de fondation, laissant ainsi toute liberté de déformation au barrage proprement dit. Le socle est ici solidaire du massif de la centrale et de la base des tours, de sorte que les mouvements éventuels dus à la déformabilité de la molasse ne pourraient être que des déplacements d'ensemble qui n'affecteraient pas les positions relatives des tours, des conduites d'adduction et des turbines.

Un rideau d'injections d'étanchéité de 30 m de profondeur assure l'imperméabilité du rocher sous les fondations. Ce rideau est complété par des injections de consolidation exécutées jusqu'à 10 m de profondeur, non seulement sous le barrage, mais à l'aval de celui-ci, c'est-à-dire dans la région du sous-sol qui devra résister aux poussées obliques

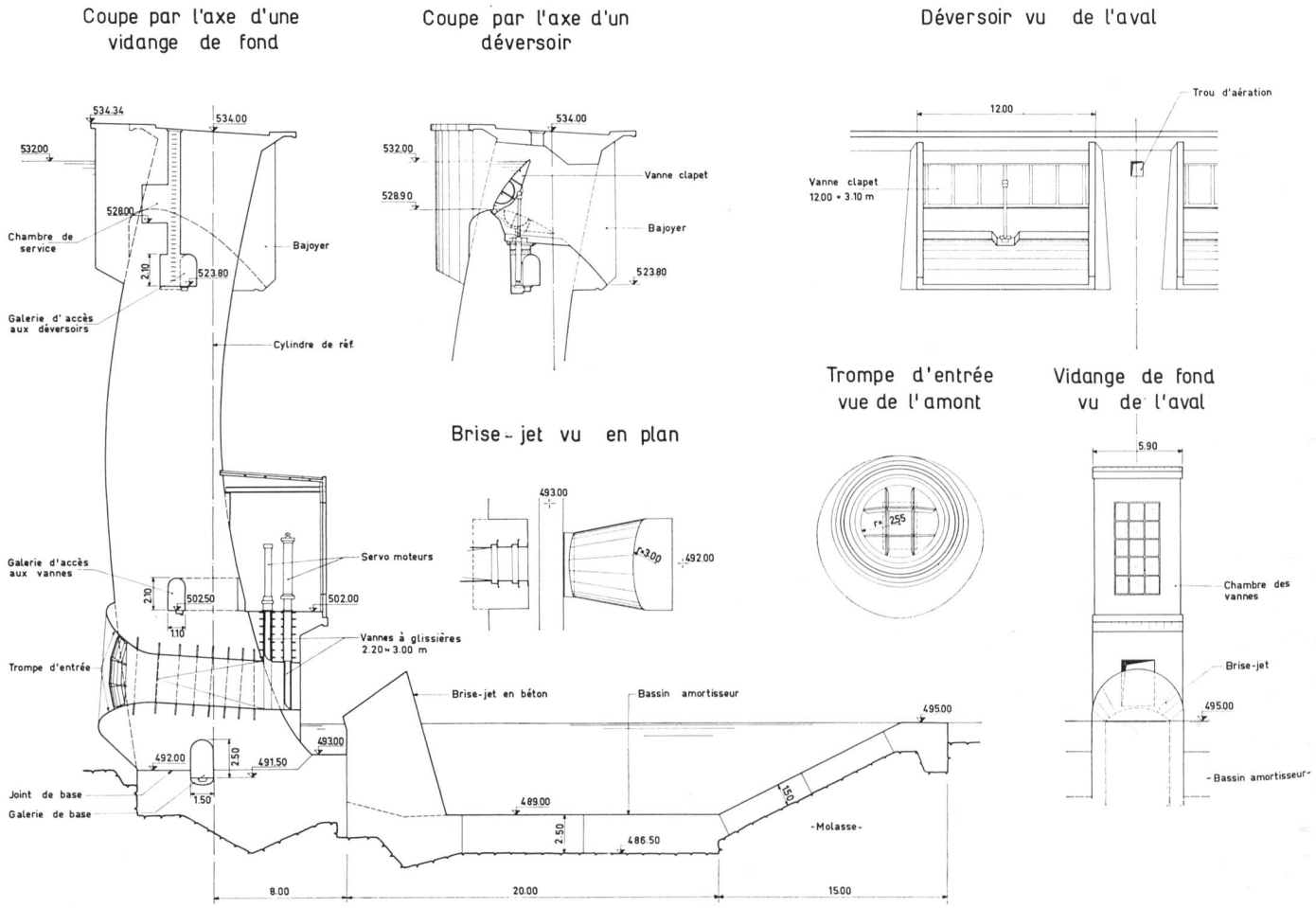

Fig. 8 Organes d'évacuation du barrage

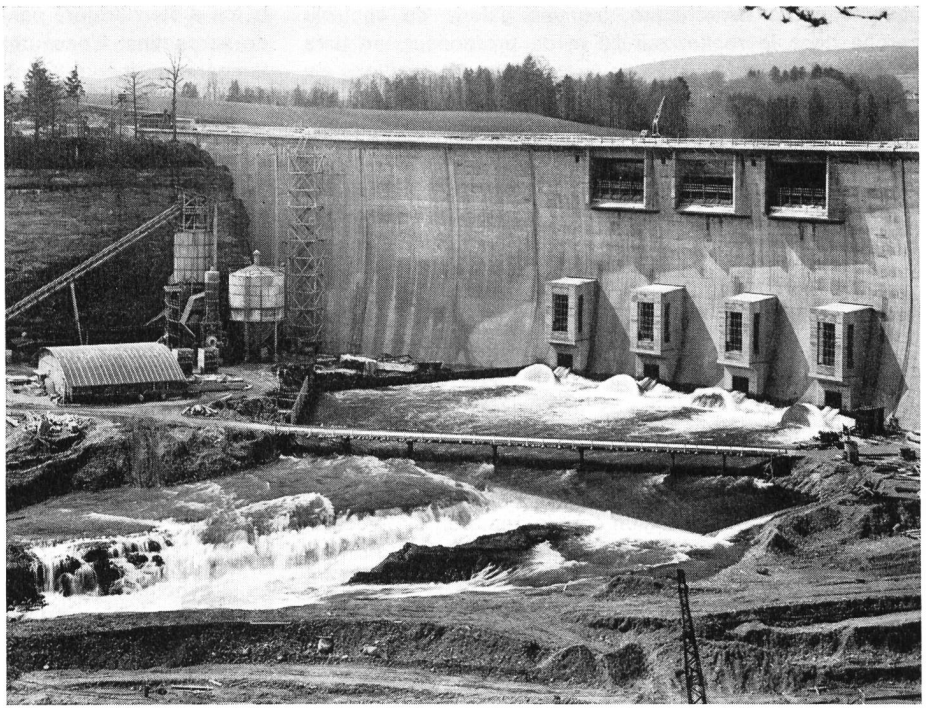

Fig. 9 Evacuateurs de crue vidanges de fond, brise jet et bassin amortisseur.

exercées par les consoles. Des injections d'étanchéité et de consolidation ont aussi été exécutées dans la molasse marine des appuis latéraux, mais les absorptions de ciment et même de gels de silicate de soude ont été pratiquement nulles, ce qui a confirmé l'absence de fissurations.

Bien que l'effet des sous-pressions sur un barrage-voûte n'ait pas la même signification que pour un barrage poids, la fondation a été assainie au moyen de drains verticaux établis au pied aval du barrage, tous les 8 m. Ces drains sont constitués par des forages de 300 mm dans lesquels sont placés des tubes drainants de 100 mm qui sont entourés d'un filtre disposé entre le tube et la paroi du forage.

Les moyens de surveillance et d'auscultation du barrage sont les suivants: une galerie d'inspection – d'où peuvent aussi s'exécuter des injections – suit le fond du barrage, à la hauteur du joint de base, et remonte aux extrémités

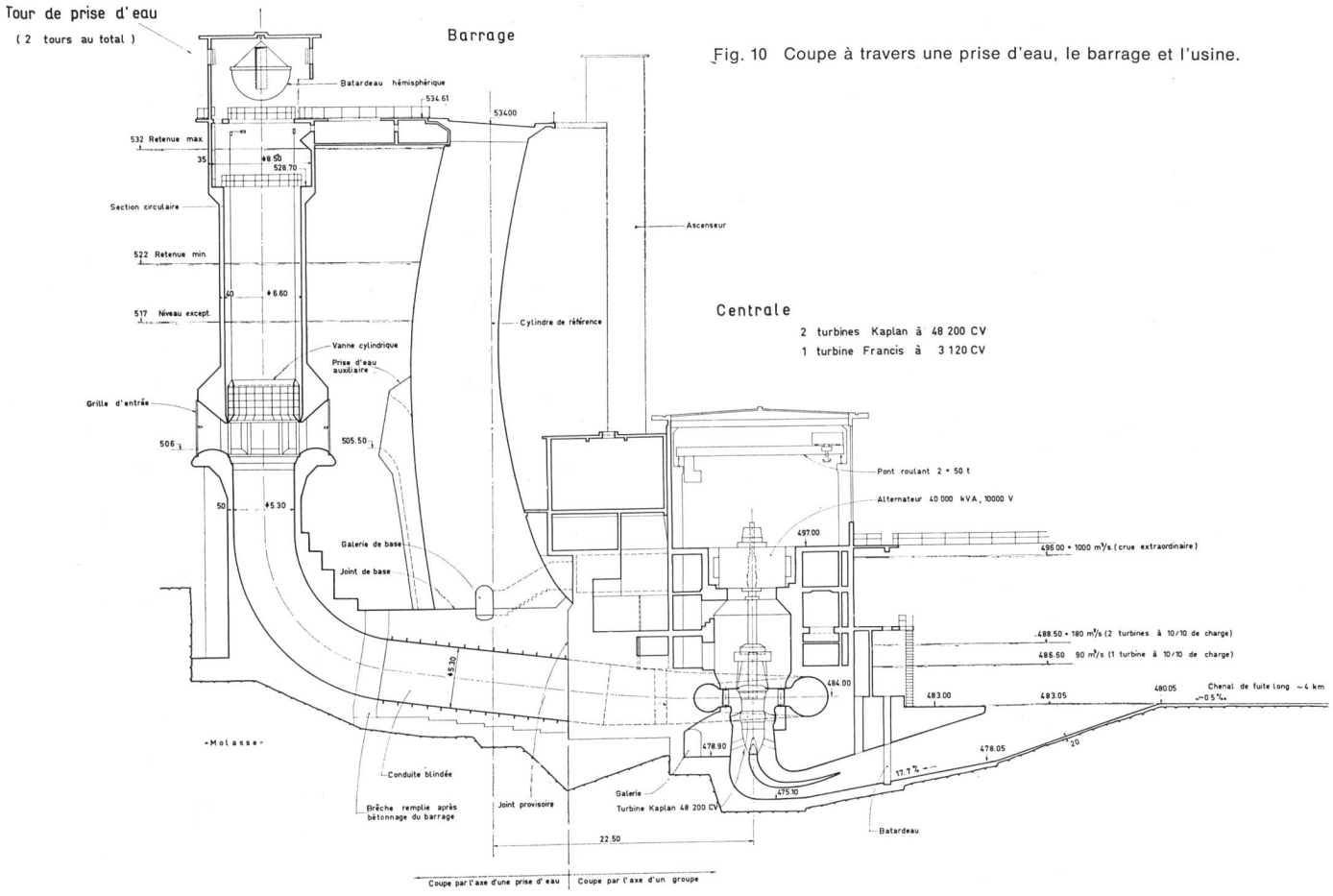

Fig. 10 Coupe à travers une prise d'eau, le barrage et l'usine.

pour rejoindre sur chaque rive une galerie de contrôle percée dans le rocher sur 50 m de profondeur, au tiers inférieur de la hauteur de l'ouvrage. Les déformations du barrage et de sa fondation pourront être mesurées d'une part par triangulation, d'autre part au moyen de 3 pendules normaux établis dans le barrage et complétés par 3 pendules inversés à flotteur pénétrant à 25 m de profondeur dans le rocher sous-jacent. Deux autres pendules inversés à flotteur seront en outre placés en plein rocher dans les appuis latéraux, au-dessous des petites culées. Ces pendules descendront à 51 m au-dessous de ces culées.

Des visées d'alignement et des mesures de longueur sur chaînes de boulons effectuées dans les galeries de contrôle latérales permettront aussi de surveiller le comportement du rocher. L'ensemble de ces moyens sera encore complété par des nivellements de précision du couronnement du barrage.

Mentionnons encore qu'un certain nombre de télédilatomètres, de téléformètres et de thermomètres ont été disposés dans le barrage, pour observer les mouvements éventuels du joint de base à l'amont, les déformations spécifiques au pied aval, ainsi que le régime thermique du barrage.

Pour l'exécution, le barrage a été subdivisé en plots de 17 m de longueur, construits en levées de 3 m de hauteur avec un béton de 80—100 mm de grain maximum, uniformément dosé à 250 kg de ciment Portland normal par m³. Le béton a été réfrigéré par circulation d'eau dans les nappes de serpentins. L'eau utilisée était celle de la rivière à sa température naturelle. On a toutefois installé une petite machine à froid de 150 000 kcal/h pour pouvoir accélérer, en cas de besoin, la réfrigération sur un point ou sur un autre de l'ouvrage.

Mentionnons encore que le barrage a été construit sans faire usage de galeries de dérivation. Le débit à évacuer, de l'ordre de 650 m³/s, aurait exigé 2 à 3 galeries de section très considérable, et la construction, à l'amont du barrage, d'une digue-batardeau de 12 à 15 m de hauteur et 300 m de longueur. Ces ouvrages auraient été extrêmement coûteux. En outre, en cas de fortes crues, la route cantonale et le pont situés un peu à l'amont du site auraient été submergés. On a profité de la grande largeur de la vallée pour construire d'abord l'aile droite et une partie de l'aile gauche, en ménageant au mileu une brèche de 51 m de largeur, et en laissant tout d'abord la rivière dans son lit naturel à l'extrême gauche. En deuxième phase, on a détourné la rivière par la brèche centrale, pour construire le reste de l'aile gauche. Enfin, en période de basses eaux, on a fermé la brèche et bétonné les 3 plots du centre, les eaux s'écoulant dès lors par les 4 conduites de vidange.

Ces travaux ont commencé à la fin de 1960. A la fin de 1962, le bétonnage du barrage, d'un volume total de 180 000 m³ y compris le socle et les élargissements au droit de la centrale était achevé.

III. OUVRAGES ANNEXES DU BARRAGE

par Robert Oberlé, ingénieur

CDU. 627.8

PRISES D'EAU

Les prises d'eau, au nombre de deux et en forme de tour, alimentent les turbines de la centrale par l'intermédiaire de conduites blindées passant sous le joint de base du barrage.

Les grilles sont disposées suivant un dodécagone, en panneaux de 2,25 m de large et de 4,80 m de haut. La section libre d'écoulement qui en résulte est de 120 m², elle doit pouvoir absorber au maximum un débit de 90 m³/s. La base de cette couronne de grilles est située à la cote 506.

L'organe de sécurité de la prise d'eau est constitué par une vanne cylindrique qui obture la conduite d'amenée immédiatement à l'aval des grilles. Ce type de vanne forme un cylindre de 6,30 m de diamètre, dont la surface périphérique est de 60 m² environ. Hormis le distributeur de la turbine, cette vanne est, en cas d'incident, le seul moyen de fermer le complexe prise d'eau — conduite d'amenée — turbine.

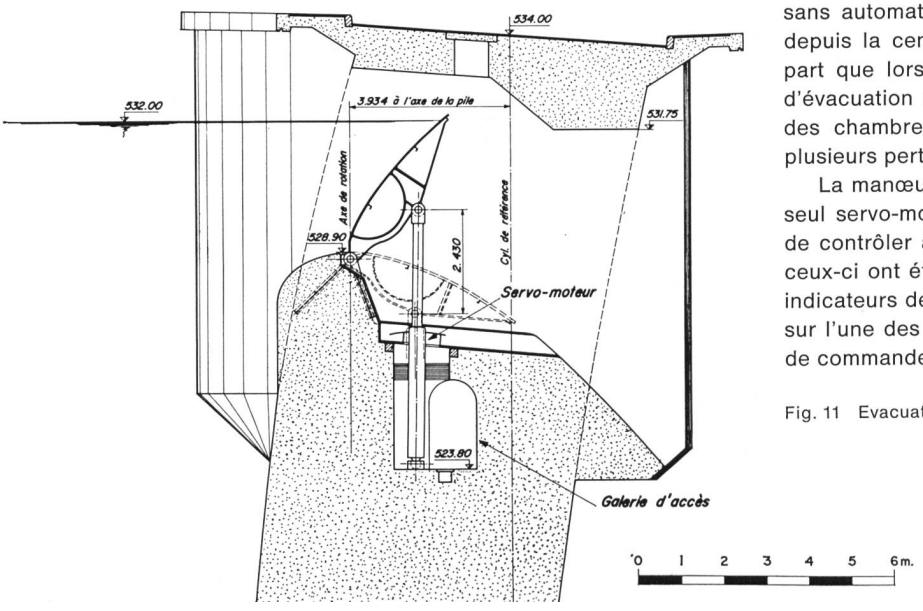

Fig. 11 Evacuateur de crue

Une possibilité intéressante de ces vannes cylindriques est qu'elles offrent le passage à travers elles à un batardeau en forme de calotte hémisphérique, qui vient se placer sur un siège situé immédiatement en-dessous du siège de la vanne et qui permet ainsi la fermeture de la section du puits d'amenée et la libération de la vanne pour des fins de revision (voir Fig. 10).

DEVERSOIR DE SURFACE

Les 3 pertuis de ce déversoir sont équipés de clapets en forme de ventre de poisson dont les positions intermédiaires entre fermeture et ouverture peuvent être commandées automatiquement par un limnigraphe placé dans l'un des piliers de séparation des pertuis. Cette automaticité permet de maintenir le niveau de la retenue à une cote constante prédéterminée, quel que soit le débit d'apport dans le lac. Ces 3 clapets peuvent être également commandés à volonté sans automaticité, soit localement, soit par télécommande depuis la centrale ou d'un autre lieu. Il faut noter d'autre part que lors d'un débit de crue supérieur à la capacité d'évacuation des 3 pertuis, il est possible d'ouvrir, à partir des chambres des vannes ou par télécommande, un ou plusieurs pertuis des vidanges de fond.

La manœuvre d'un clapet se fait par l'intermédiaire d'un seul servo-moteur à pression d'huile. Pour être en mesure de contrôler à distance la position de chacun des clapets, ceux-ci ont été munis d'un système de téléindication et les indicateurs de position sont matérialisés par des silhouettes sur l'une des armoires de commande placées dans la salle de commande générale de la centrale.

Pour éviter la formation de glace sur les bajoyers des pertuis et sous les clapets, il a été installé dans les parois de béton des treillis chauffants. Enfin, pour éviter que la glace formée à la surface libre de la retenue n'exerce une poussée sur les clapets, il a été prévu un système de déglaçage qui consiste simplement à laisser échapper, par l'intermédiaire d'une rampe munie de tuyères placée le long du clapet, de l'air comprimé qui agite suffisamment la surface libre de l'eau à l'amont du clapet pour empêcher la formation de glace.

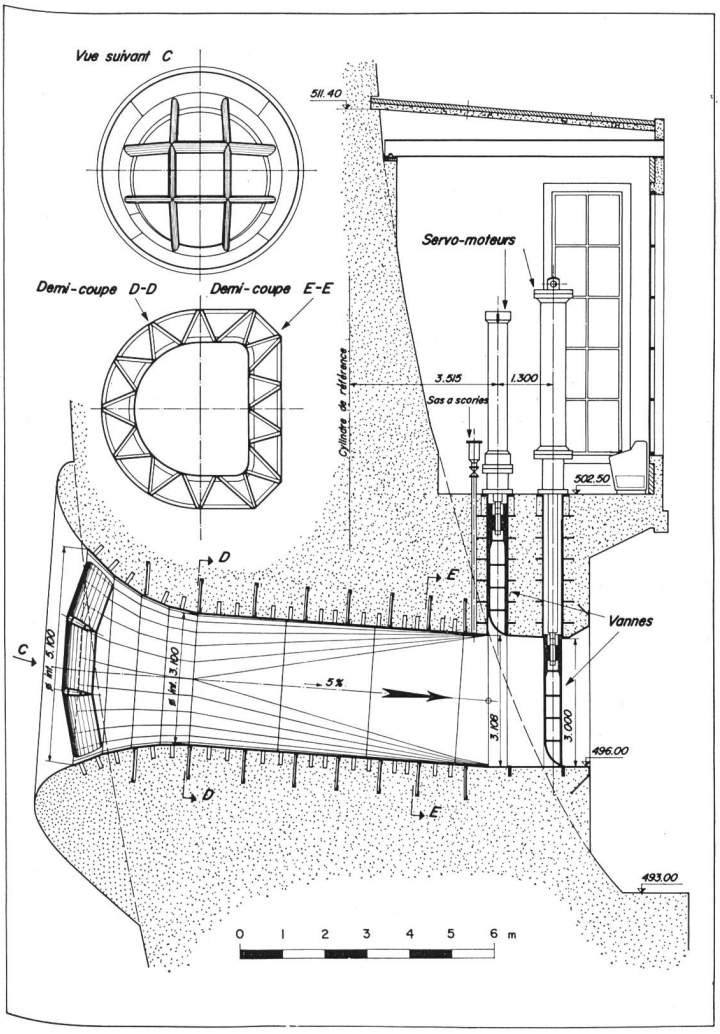

Fig. 12 Vidange de fond

VIDANGE DE FOND

Cette vidange comprend, comme il a été dit plus haut, 4 pertuis, obturés chacun par 2 vannes planes à glissières disposées en série. Si le choix s'est porté sur un tel type de vanne, quoique plus onéreux qu'un autre, c'est qu'il permettait de réduire au maximum les dimensions des massifs d'ancrage des carters des vannes à l'extérieur du profil du barrage. En effet, il fallait éviter dans toute la mesure du possible de créer des points durs à la libre déformation du barrage sous l'effet de la charge hydrostatique.

Les pertuis des vannes de fond sont blindés d'une extrémité à l'autre. L'entrée, circulaire avec un diamètre de 4,60 m, passe progressivement à un rectangle de 3,10 x 2,20 m au droit de la vanne amont.

Les vannes sont de construction très robuste en tôle d'acier du type caisson, qui limite au maximum les déformations dues aux fortes pressions qu'elles doivent subir. L'étanchéité des vannes est assurée par contact de glissières en bronze spécial, montées sur le corps de la vanne, sur des glissières fixes en acier inox. La vanne amont de chaque pertuis sert en quelque sorte de batardeau à celle d'aval, mais peut être également manœuvrée en eau vive. La manœuvre des deux vannes se fait par l'intermédiaire de servo-moteurs à pression d'huile. Deux types de servo-moteurs ont été prévus; celui de la vanne amont est un servo-moteur à haute pression; celle-ci, au décollage du tablier, peut atteindre 350 atm. Le servo-moteur de la vanne aval, dit de réglage, est du type moyenne pression; celle-ci n'atteint que 100 atm au moment du décollement de la vanne.

Lorsque les vannes sont ouvertes, elles viennent se loger dans des carters. Ceux-ci sont enrobés de béton et forment également le sol des chambres de commande et de manœuvre locale, les vannes peuvent également être télécommandées à partir de la centrale en pied du barrage ou

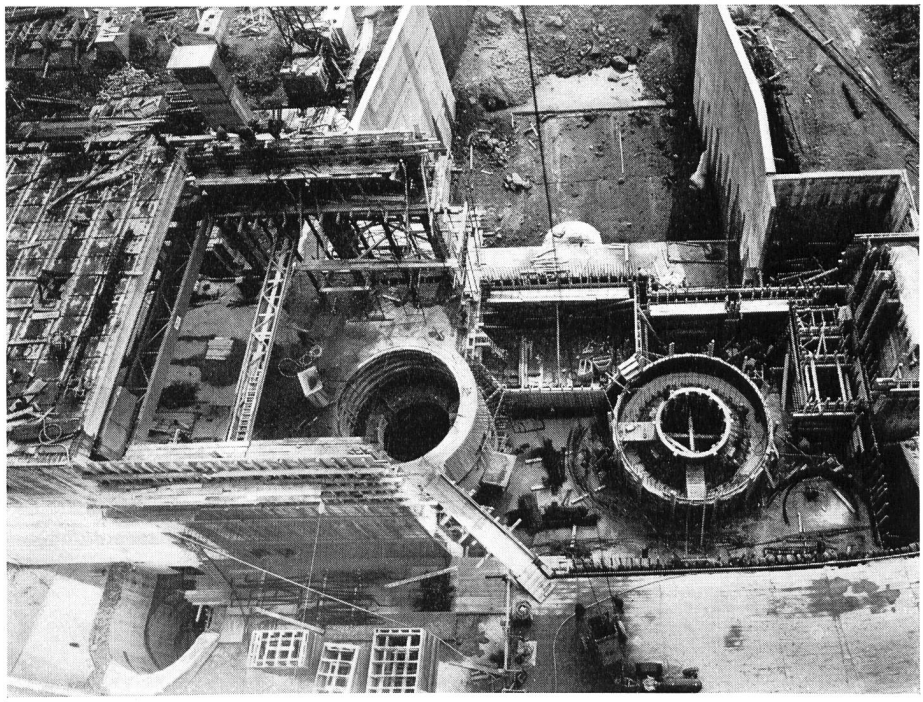

Fig. 13 L'usine en montage; en haut le canal de fuite.

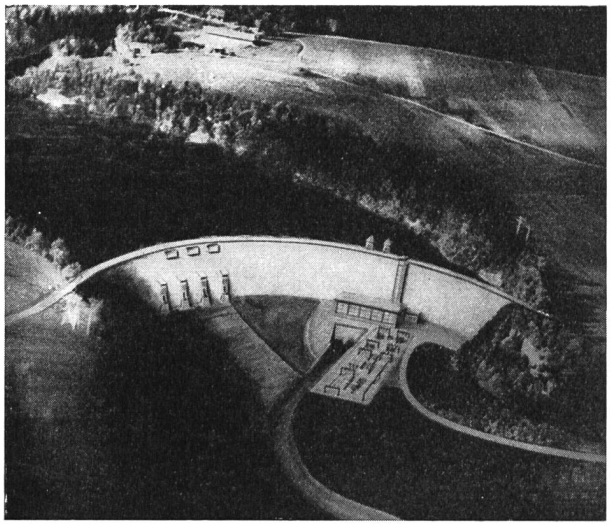

Fig. 14 Vue générale (Montage photographique)

encore d'un autre lieu. Etant donné que ce sont les 4 vannes aval qui fonctionnent en tant que vannes de réglage, il a été nécessaire de prévoir, comme pour les clapets de surface, des indicateurs de position sous forme de silhouettes sur l'armoire de commande de ces vannes placée dans la salle de commande générale de la centrale.

CENTRALE

La particularité de la centrale réside dans le fait qu'elle a été placée au pied du barrage et que ses turbines sont enfoncées très profondément sous la surface du terrain naturel; en effet, le sol est à la cote 495, alors que l'axe des bâches se situe à 484 et le fond des aspirateurs à 475,10. Cette dernière cote est déjà au-dessous de la cote de fondation du barrage, fondation distante de 16 m du point le plus profond de la centrale. Pour les fondations du barrage, la centrale forme point d'appui au même titre que la roche de part et d'autre de celle-ci. Etant donné la présence de sous-pressions, qui tendent à faire diminuer la densité du m³ de centrale au-dessous de celui du rocher, il a fallu créer, pour éviter ce phénomène, un réseau de drains verticaux reliés entre eux par des canalisations dont les eaux viennent se déverser dans le puisard de la centrale et sont ensuite refoulées à l'extérieur par la pompe d'exhaure du puisard. Les drains sont constitués par des forages à grand diamètre de 350 mm, disposés sur un réseau de mailles de 5 x 5 m. Ces forages s'enfoncent jusqu'à 5 m sous le point le plus profond de la centrale; à l'intérieur de ces forages a été placé un tuyau de 100 mm de diamètre en acier galvanisé, tuyau dans lequel ont été percés toute une série de petits trous. Entre le tuyau de 100 mm de diamètre et la paroi de forage a été mis en place un filtre constitué par une toile en fibres de verre posée à même le tuyau et par du sable et du gravillon de granulométrie appropriée.

A ce jour, nous avons pu nous rendre compte que cette précaution de mise en place des drains n'a pas été vaine, car les drains débitent déjà, ce qui prouve le bienfondé de l'hypothèse de circulation d'eau dans les couches feuilletées de la molasse d'eau douce.

La raison de l'implantation si profonde des groupes de la centrale est due au fait que, du site du barrage à l'extrémité de la concession des EEF, il y avait à récupérer plusieurs mètres de chute; un calcul économique a montré qu'il y avait intérêt à faire la dépense supplémentaire pour d'une part enfoncer la centrale et, d'autre part, creuser un canal de restitution plus important.

La centrale est équipée de 2 groupes turbo-alternateurs du type Kaplan.

Lorsque les deux groupes principaux sont mis hors service, il y a lieu de laisser un débit de dotation de 5 m³/sec à l'aval du barrage dans le lit de la Sarine, afin d'assurer des conditions piscicoles favorables. Pour restituer ce débit sans perdre d'énergie et le faire économiquement, la centrale a été équipée en outre d'un troisième groupe à axe horizontal, dont la turbine est du type Francis. La prise d'eau de cette petite turbine est accolée directement au parement amont du barrage entre les deux tours de prise. Les organes de sécurités montés sur la conduite d'amenée de diamètre 1,40 m sont constitués par deux vannes-papillon. La restitution des eaux turbinées se fait également dans le canal de fuite général.

La centrale comporte à l'entrée une aire de montage et de démontage, ainsi qu'une fosse de décuvage, aire et fosse que l'on peut isoler du reste de l'usine par un rideau métallique coupe-feu. En outre, les locaux qui abritent les services auxiliaires et la salle de commande générale sont groupés dans un bâtiment accolé à la centrale, entre celle-ci et le barrage. Pour la manutention des pièces lourdes, il a été prévu deux ponts roulants de 50 t.

CHENAL DE FUITE

Comme nous l'avons rapidement indiqué ci-dessus, le chenal de fuite a une longueur d'environ 4000 m, afin de pouvoir restituer à l'extrémité aval de la concession des EEF les eaux turbinées. Ce chenal a été creusé à même le lit de la Sarine. Il forme en quelque sorte le nouveau lit mineur de celle-ci. A certains endroits, sa profondeur atteint jusqu'à 12 m. Aucun revêtement n'a été prévu dans ce chenal étant donné que sa pente longitudinale de 0,5 ‰ n'engendrera pas des vitesses excessives. Celles-ci donneront cependant lieu à des érosions locales. Si à l'expérience celles-ci devenaient importantes vu le caractère capricieux de la molasse d'eau douce, où l'on observe une alternance de couches dures et de couches tendres, elles pourraient nécessiter ultérieurement des mesures de protection appropriées à chaque cas particulier (pose de gabions, mise en place de blocs de béton, etc.). Quant aux petites anfractuosités dues à l'érosion, qui ne présenteraient pas un caractère de gravité pour la tenue de l'ouvrage, elles assureraient aux poissons les gouffres et refuges désirés par les services de pêche. Il est probable qu'après un certain temps le chenal de fuite prendra un profil d'équilibre sensiblement différent du profil initial, qui est de forme trapézoïdale avec 12 m de plafond et des parois inclinées de 2 : 1.

Il n'est pas exclu que l'on soit un jour amené à draguer le chenal pour dégager certains éboulements qui s'y seraient produits, dragages qui pourront être exécutés sans gros frais.

Pour l'exécution à sec du chenal de fuite il a été nécessaire de détourner sur une distance de 3,5 km la Sarine à travers un canal provisoire construit pour 80 m³/sec et comportant à son entrée un véritable barrage permettant d'y limiter à cette valeur le débit des eaux. Actuellement déjà celles-ci passent entièrement par le chenal de fuite; le canal provisoire a été comblé et son barrage de tête démoli.

Illustrations
Fig. 1, 4, 9, 13: Photos Mulhauser, Fribourg